annales de zoologie écologie animale

inra

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

AZEA7.2

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle, 75007 PARIS Tél. : 551-41-09

Directeur général : R. FÉVRIER

Directeur général adjoint : J. POLY

Inspecteurs généraux : E. BIBLIOTTI, P. BOUVAREL, C. CALET, A. CAUDERON, G. FAUCONNEAU, P. MORNET, R. PÉRO, J. REBISCHUNG

Rédaction des Annales

Pour l'ensemble des Séries : J. POLY

Annales agronomiques.

— J. CHAUSSIDON, Chef du Département de Science du Sol, C. N. R. A.
— L. GACHON, Chef du Département d'Agronomie, 63100 Clermont-Ferrand.
— M. HALLAIRE, Chef du Département de Bioclimatologie, C. N. R. A.

Annales de l'Amélioration des Plantes.

— M. RIVES, Chef du Département de Génétique et d'Amélioration des Plantes, I. N. R. A., 11, rue Jean-Nicot, 75007 Paris.

Annales de Phytopathologie.

— J. PONCHET, Chef du Département de Pathologie végétale, 06602 Antibes.

Annales de Zoologie-Écologie animale.

— E. BIBLIOTTI, Inspecteur général de la Recherche agronomique.

Annales de Zootechnie.

— A.-M. LEROY, Professeur honoraire à l'Institut national agronomique.
— A. RÉRAT, Chef du Département de Nutrition, C. N. R. Z.

Annales de Technologie agricole.

— P. DUPUY, Chef du Département de Technologie des Produits végétaux, 21034 Dijon Cedex.
— A. GUILBOT, Directeur de la Station de Biochimie et Physico-Chimie des Céréales et de leurs Dérivés C. E. R. D. I. A., Le Noyer-Lambert, 91300 Massy.
— B. L. DUMONT, Directeur du Laboratoire de Recherches sur la Viande, C. N. R. Z.

Annales de Biologie animale, Biochimie, Biophysique.

— G. FAUCONNEAU, Inspecteur général de la Recherche agronomique.
— A. FRANÇOIS, Directeur de Recherche à l'I. N. R. A., Directeur du Centre national de Coordination des Études et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation.
— C. THIBAULT, Chef du Département de Physiologie animale, C. N. R. Z.

Annales des Sciences forestières.

— P. BOUVAREL, Inspecteur général de la Recherche agronomique, Chef du Département de Recherches forestières, C. N. R. F.
— J.-P. CHESNEAU, École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 54000 Nancy.
— J. PARDÉ, Directeur de la Station de Sylviculture et de Production, C. N. R. F.

Annales de Génétique et de Sélection animale.

— P. MÉRAT, Directeur de la Station de Génétique factorielle, C. N. R. Z.
— B. VISSAC, Chef du Département de Génétique animale, C. N. R. Z.

Apidologie (Revue franco-allemande, co-édition I. N. R. A.-Deutscher-Imkerbund).

— J. LOUVEAUX, Directeur de la Station de Recherches sur l'Abeille et les insectes sociaux 91440 Bures-sur-Yvette.

Annales de Recherches vétérinaires.

— P. MORNET, Inspecteur général de la Recherche agronomique.
— P. LARVOR, Directeur de la Station de Physiopathologie de la Nutrition, Saint Genès Champanelle, 63110 Beaumont.

Annales d'Hydrobiologie.

— C. THIBAUT, Chef du Département de Physiologie animale, C. N. R. Z.
— J. LECOMTE, Chef du Département d'Hydrobiologie, C. N. R. A.

ADMINISTRATION ET SECRÉTARIAT DE LA RÉDACTION

Services des Publications de l'I. N. R. A., route de Saint-Cyr, 78000 VERSAILLES, Tél. : 950-75-22

annales de zoologie écologie animale

Trimestriel

1975

Vol. 7 . N° 2

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

Reproduction, même partielle, interdite sans autorisation des auteurs
et de l'Institut national de la Recherche agronomique
à l'exception des résumés

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 139-160.

ÉCOLOGIE DES PARASITES D'ANIMAUX ÉLEVÉS SUR HERBAGES

G. STREBLER

Laboratoire de Zoologie et d'Entomologie,
Institut national agronomique, Paris-Grignon,
78850 Thiverval Grignon

RÉSUMÉ

Des méthodes prophylactiques basées sur de sérieuses connaissances concernant l'écologie et la biologie des parasites d'animaux en élevage, permettraient de prévenir des pertes importantes et des interventions vétérinaires coûteuses. L'application des données de l'écologie peut nous apporter des éléments essentiels concernant le potentiel biotique et ses variations provoquées chez les grands groupes de parasites. L'inféodation plus ou moins lointaine et souvent, en conséquence, plus ou moins étroite à un groupe d'hôtes ou à une espèce particulière des grandes classes zoologiques, telle qu'elle nous apparaît au travers de l'étude de la biologie d'un exemple pris dans les grands groupes de parasites des animaux d'élevage (Arthropodes : *Ixodes ricinus*, Némathelminthes, *Strongyloïdes papillosus*, Plathelminthes, *Fasciola hepatica*, Sporozoaires, *Microbabesia bovis*), entraîne l'utilisation d'interventions plus ou moins directes. Le succès escompté est en général plus réduit pour des méthodes de prophylaxie indirecte appliquées sur le milieu dans lequel évoluent des parasites plus récents, que pour des interventions plus précises, mais plus délicates, sur l'environnement immédiat des parasites et des hôtes intermédiaires sauvages. C'est vers ce dernier type d'intervention précise, qui réduit notre action sur le milieu et présente en général une efficacité bien supérieure que devront tendre nos efforts ; cela ne sera possible que si nos connaissances écologiques lacunaires des parasites sont largement complétées.

I. — LE PROBLÈME

Les maladies infectieuses et les parasites limitent la production animale, non seulement par la mortalité qu'ils provoquent mais également par leurs effets débilitants sur la croissance et la reproduction. Même dans le cas où les parasites sont combattus plus ou moins systématiquement et à plus ou moins bon escient, les frais de vaccination ou de quarantaine peuvent fortement contribuer à augmenter le prix de revient des viandes.

On ne connaît exactement, pour aucun pays, les frais entraînés par les maladies et les parasites, ni pour les pertes, ni pour les dépenses en ce qui concerne les traite-

ments et mesures préventives. On a évalué aux États-Unis, en 1970, à plus de 700 millions de dollars par an les pertes causées par les maladies et les parasites des bovins, sans compter le coût des mesures de lutte. La production est diminuée de 810 000 tonnes par an (estimation 1968), ce qui représente 10 p. 100 de la production effective. En France, dans l'exemple de la même production, les maladies des bovins dans leur ensemble (comprenant l'action pathogène d'agents mécaniques, physiques, chimiques et biologiques) ont coûté en 1970 plus de 5 milliards de francs, soit 12 à 15 p. 100 de la valeur des productions bovines de notre pays pour cette année. Mais on estime, en général, que même dans les pays évolués, la production est souvent diminuée de 20 à 25 p. 100, ce qui amènerait, grâce à une lutte efficace, une augmentation de la production mondiale de bœuf de plus de 10 kg par habitant et par an. Étant donné que ces taux de pertes sont sans aucun doute largement dépassés dans les pays en voie de développement à climat chaud, les estimations précédentes sont bien en-dessous de la réalité.

Il faut souligner, par ailleurs, que, dans de nombreux cas, des parasites de nos animaux domestiques sont des fléaux pour la race humaine, fléaux d'autant plus dangereux qu'ils peuvent n'avoir qu'une action bénigne ou chronique chez d'autres espèces. De tels exemples sont fréquents parmi les Protozoaires (le Trypanosome par exemple), les Némathelminthes (Ascaridés) et les Plathelminthes (Ténias). Nos connaissances sont, au surplus, souvent fort rudimentaires, sinon nulles en ce qui concerne des parasites ou stades intermédiaires transmis par des animaux sauvages (poissons, batraciens, reptiles, invertébrés).

Sans vouloir empiéter sur le domaine curatif du vétérinaire qui n'est pas le nôtre, il semble évident que l'application d'une prophylaxie générale tout d'abord, et l'aménagement d'une lutte naturelle adaptée aux cas particuliers de l'apparition d'un parasite précis, contribueraient grandement à diminuer les pertes, à améliorer l'état sanitaire général et donc la production, à réduire les frais de vaccination ou de traitement d'animaux parasités. Cette voie est d'autant plus prometteuse que la lutte curative, avec des produits plus ou moins toxiques, est inserrée dans d'étroites limites séparant son action sur le parasite et sur l'hôte. La présence endémique du parasite rend au surplus ces interventions aléatoires dans le temps (même pour la durée de vie d'un même animal) et dans l'espace (par la réinfestation).

La mise en œuvre de ces méthodes prophylactiques devra s'appuyer notamment sur l'abaissement du potentiel biotique d'un ou de plusieurs parasites, soit en provoquant des variations de divers facteurs qui régissent les interrelations de la biocénose dans laquelle ils sont inclus, soit en agissant sur un point particulier du cycle de développement du parasite même. Mais le développement de ces notions a pour base la connaissance de l'écologie du cycle des parasites, et en premier lieu de leur potentiel biotique.

II. — LE POTENTIEL BIOTIQUE ET SES VARIATIONS PROVOQUÉES

L'un des caractères fondamentaux de la matière vivante est de s'organiser à tout niveau, à celui de la cellule et des tissus, puis au niveau de l'espèce, enfin au niveau de l'association des espèces. Cette association, qui nous intéresse ici du point de vue biologique, se présente sous forme de chaînes de nutrition d'organismes sym-

patriques, parmi lesquelles chacun occupe une niche écologique spécifique lui permettant de satisfaire l'ensemble de ses besoins : besoins de nourriture, de lumière et de température, d'abris favorables à la multiplication et à la reproduction, l'absence de prédateurs trop efficaces ou de compétiteurs accaparant l'une ou plusieurs des caractéristiques indispensables de sa niche écologique. Il s'établit un équilibre entre l'ensemble des organismes sympatriques, équilibre sujet à de légères fluctuations et que l'on appelle équilibre naturel ou biologique.

Dans une prairie naturelle, les espèces sympatriques de la chaîne de nutrition primordiale sont les plantes autotrophes, Graminées et Légumineuses, aliments des animaux d'élevage. Mais, dans cette première association, s'insèrent de nombreux autres organismes : les saprophytes de déchets animaux ou végétaux, et aussi les parasites des végétaux d'une part (maladies cryptogamiques et Insectes), des animaux d'autre part (Protozoaires, Plathelminthes et Némathelminthes essentiellement).

L'équilibre de cet ensemble est modifié :

1. Si l'un des agents de cette biocénose est dévié durant un certain temps de sa moyenne habituelle de population. Les variations des conditions climatiques d'une année à l'autre n'ont, sauf cas tout à fait exceptionnels (tels que le froid très rigoureux ou une période de sècheresse anormalement prolongée), qu'une action extrêmement faible sur la flore. Il n'en est pas de même de la faune et, du moins, des stades soumis à l'action du milieu extérieur ; des fluctuations climatiques réduites peuvent modifier fortement les populations.

2. Si une espèce disparaît totalement de la communauté ou si une nouvelle espèce y pénètre et s'y intègre. Une telle disparition pourra provoquer la pullulation d'une espèce voisine sympatrique qui s'appropriera peu à peu une partie de la niche écologique ainsi libérée, tout comme l'introduction d'une nouvelle espèce entraînera des variations incontrôlables des populations.

3. Par l'influence de l'Homme qui détruit de plus en plus les équilibres naturels pour provoquer la formation d'autres équilibres dont il ne peut prévoir, en général, la composition finale. Des monocultures sur de grandes surfaces, l'élevage et la promiscuité d'animaux domestiques élevés en troupeaux très étendus dans une région précise, la sélection d'espèces comportant des viroses, bactérioses, maladies cryptogamiques, helminthoses étroitement inféodées à une race donnée, ou d'espèces ayant une niche écologique très restreinte, soumise en conséquence à des contraintes climatiques de plus en plus précises, tous ces phénomènes, accompagnant l'Homme dans son progrès technologique, accentuent la création de nouveaux équilibres. Il faut ajouter, toujours lié à l'intervention de l'Homme, l'apport, au cours de ses échanges avec divers pays répartis dans des régions très variées, de nouveaux parasites : les végétaux ou animaux indésirables introduits nous posent des problèmes qui n'ont d'équivalents que ceux qu'ont apporté à nos voisins nos dons généreux en retour.

— Une première façon d'intervenir pour réduire l'action des parasites consiste à agir sur l'association dans son ensemble et d'y provoquer des variations notables de composition qui se répercuteront obligatoirement, d'une façon que nous pouvons parfois prévoir et diriger, sur les populations des espèces parasites. Dans notre exemple d'une biocénose (prairie naturelle-animaux domestiques en élevage), il est possible d'agir sur les plantes (en faisant varier leur nature ou leur association, en favorisant leur croissance, etc.) ou bien sur les animaux en élevage (leur espèce, leur densité

par rapport à la surface pâturée, leur alimentation par des apports extérieurs, etc.) : c'est ce que nous appellerons agir par prophylaxie indirecte.

— Mais il est par ailleurs possible d'agir par prophylaxie directe sur l'élément précis de la biocénose qui nous intéresse. Nous cernons notre sujet directement en nous intéressant à présent plus particulièrement à un parasite des animaux domestiques ou à quelques espèces voisines, qui, dans la population sympatrique d'un élevage, occupent une place particulière. Leur existence est en effet liée en général à une niche écologique très étroite, c'est-à-dire, pour sortir du jargon du biologiste, à des conditions d'existence relativement strictes. Il s'en suit que des variations peu importantes, intervenant à divers niveaux sur les liens que présente l'espèce avec le milieu abiotique ainsi qu'avec les divers éléments de l'association, pourront l'atteindre et faire varier sa virulence. Cette intervention agira au niveau du potentiel biotique de l'espèce en provoquant des fluctuations inhabituelles par leur intensité et par le déplacement de l'équilibre moyen des populations.

En effet, d'une manière générale, l'existence des animaux est le résultat de l'opposition constante entre le potentiel de reproduction et le potentiel de survivance sous des conditions physiques et biologiques précises : c'est ainsi qu'on définit le potentiel biotique par la propriété inhérente à un organisme à se reproduire et à survivre dans le milieu où il se trouve.

1. Le potentiel de reproduction représente toutes les possibilités de l'animal à se multiplier quand celui-ci est placé dans des conditions optimales : il comprend la sex-ratio, ou bien la proportion de femelles aptes à être fécondées et à se reproduire (souvent égal à 0,5 mais atteignant 1 dans le cas de la reproduction parthénogénétique), et le nombre de descendants produits par unité de temps, lors des diverses multiplications (multiplication sexuée, scissiparité, etc.).

2. Le potentiel de survivance représente la résistance au milieu environnant que peut endurer un organisme. Il comprend :

— le potentiel nutritif, capacité d'un organisme à utiliser les matériaux environnants pour sa nutrition ;

— le potentiel de protection, c'est-à-dire les possibilités qu'a cet organisme de se protéger des forces dynamiques qui l'entourent et extériorisés essentiellement par les conditions climatiques ou de milieu et les ennemis naturels ; les diverses espèces montrent à cet effet des adaptations qui vont de la pure chance de survivance (émission d'organismes de dissémination dans le milieu naturel), aux structures de protection les plus compliquées (kystes, hôte intermédiaire).

Les agents qui limitent la survivance ont une action extrêmement importante ; l'exemple de *Fasciola hepatica*, Grande Douve du foie nous le fera comprendre aisément : le cycle de ce vers plat comporte une première multiplication de rédies donnant 5 à 8 individus, puis une seconde formant 15 à 20 rédies filles, soit une centaine de Douves par œuf. Or, l'adulte peut émettre 30 œufs par jour durant 2 ans, ce qui donne 2 millions de descendants, de quoi infester, avec une dizaine de ces parasites, tout le cheptel bovin de notre pays.

BREMER a codifié le coefficient normal de destruction dans la formule suivante, qui permet une évaluation grossière de la disparition moyenne d'individus :

$$Q_e = 1 - \frac{b^e}{a^e}$$

Q : coefficient de destruction ;
a : descendance d'un organisme ♀ ;
b : p. 100 de femelles ;
c : nombre de générations par an ou par cycle.

Le coefficient calculé dépasse souvent pour les animaux parasites particulièrement prolifiques 99,99 p. 100, ce qui veut dire que la survivance de moins de 1 individu pour 10 000 permet de garder constant l'effectif des individus.

• Dans les conditions naturelles les animaux qui ont un potentiel de survivance bas ne survivent que parce qu'ils ne rencontrent que des facteurs limitants peu importants ; mais ceux qui sont régulièrement décimés doivent, pour subsister, avoir un potentiel biotique élevé, sinon ils disparaissent rapidement. C'est le cas des organismes ayant subi une adaptation évolutive particulièrement poussée, comme la plupart des endoparasites ; leur cycle, souvent complexe, exposé à des séries de hasards de survivance variés, soumis aux conditions extérieures et aux conditions intérieures de l'hôte, doit nécessairement comporter pour qu'ils puissent subsister de nombreuses divisions.

• Corrolaire de ce potentiel de survivance élevé et d'une multiplication intense, des invasions massives ou épidémies apparaissent parfois lorsque, pour une raison ou pour une autre, il y a diminution dans l'importance de l'action limitante. Ceci peut être le résultat d'une diminution importante d'un ou de plusieurs facteurs limitatifs sous l'effet du milieu ou d'hyperparasites ou encore d'un apport, dans une région nouvelle, d'un parasite sans ses agents limitatifs d'origine.

• La répartition des espèces, enfin, peut également être mise en rapport avec le potentiel biotique. C'est ainsi que le déplacement d'espèces tropicales ou d'espèces de basses plaines vers le Nord ou des régions montagneuses se fait jusqu'à ce que le potentiel biotique soit dépassé par les facteurs limitants. De la même façon, des espèces dont le cycle est adapté à des conditions climatiques sèches (Petit Douve du foie) ou au contraire humides (Grande Douve du foie) s'étendent jusqu'à la limite d'une zone, souvent nettement définie, où ces conditions ne sont plus remplies pour le parasite, pour l'hôte définitif ou les hôtes intermédiaires. Notons cependant que ces facteurs limitants ne varient plus pour les espèces accomplissant entièrement leur cycle dans le milieu intérieur d'un animal, espèces qui ne connaissent donc de barrières géographiques que dans la mesure où l'hôte y est soumis.

Notre intervention dans le cadre du potentiel biotique, intervention par prophylaxie directe, se situera avant tout au niveau du potentiel de survivance. Pour tous les parasites, il est primordial que l'intervention se fasse avant ou au moment de la dissémination afin d'éviter ou de stopper la répartition des espèces parasites. Ce stade du cycle est le plus souvent un stade de distribution passive d'un organisme qui vient de se multiplier, stade généralement en contact alors avec le milieu extérieur par lequel on peut agir. Mais un certain nombre d'espèces, particulièrement bien adaptées au parasitisme, présente des hôtes intermédiaires, agents de répartition et foyers latents d'infestation. Dans la mesure où ces hôtes secondaires sont connus, nous pourrons agir sur eux, ainsi que, éventuellement, au moment du passage de l'hôte primaire à l'hôte secondaire, ou au retour.

Notre action sur le potentiel de reproduction ne peut être, par contre, que limitée encore, du fait de l'indigence de nos connaissances en ce qui concerne les divers fac-

teurs écologiques du milieu extérieur et les facteurs physiologiques du milieu intérieur de l'hôte, agissant sur la multiplication et la reproduction. Il y a là un champ de recherches prometteur, mais encore trop peu exploré.

En résumé, notre action prophylactique pourra être dans l'état actuel de nos connaissances :

— soit indirecte et intervenir sur les éléments de la chaîne nutritionnelle d'organismes sympatriques (dans le cas d'animaux sur pâturages, sur la végétation et la composition des herbages ou sur les espèces qui les composent, la densité et le temps de séjour des animaux sur les parcelles pâturées).

— soit directe par intervention surtout au niveau du passage d'un parasite dans le milieu extérieur si la dissémination se fait directement, ou bien avant et après le passage à un hôte secondaire, ou encore sur l'hôte intermédiaire.

III. — EXEMPLES DE CYCLES D'ESPÈCES PARASITES PRISES DANS DIVERS EMBRANCHEMENTS

Le règne animal présente à tous ses stades d'évolution des espèces parasites, aussi bien parmi les organismes unicellulaires que parmi les espèces des deux lignées les plus évoluées, Arthropodes et Vertébrés. Il est bien naturel de ne pas trouver des adaptations aussi parfaites et aussi profondes au parasitisme chez des animaux plus évolués, c'est-à-dire dont les formes ne sont apparues que relativement tardivement (comme les Insectes), par rapport à d'autres (les Protozoaires) dont le long passé de parasite a permis une évolution adaptative fort longue et souvent perfectionnée, accompagnée cependant, en dernier ressort, d'une spécialisation qui limite sa répartition.

Allant du simple au plus compliqué, nous serons donc amenés à passer d'un exemple d'Arthropode parasite (*Ixodes ricinus*, une tique), à un exemple de Plathelminthe (la Douve du foie) puis de Némathelminthe (les Strongles gastro-intestinaux) et enfin d'un Protozoaire Sporozoaire (la coccidiose intestinale du bœuf).

Après l'étude de chaque exemple nous essayerons, de tirer quelques conclusions quant aux moyens prophylactiques généraux utilisables dans la lutte contre les parasites de ces quatre embranchements.

1. — Ixodes ricinus : *Tique ou Poux des bois*

— Les tiques sont des Acariens, Arachnides à corps ramassé et globuleux, à abdomen non segmenté, formant en général une seule masse globuleuse avec le céphalothorax. La tête ne porte que deux paires d'appendices entourant l'orifice buccal et formant le rostre : d'une part deux chélicères vulnérants denticulés sur leur face externe, mobiles, émergeant d'un hypostome qui lui aussi est muni d'une denticulation ventrale permettant de fixer l'animal solidement sur son support ; d'autre part des pédipalpes entourant le rostre, à concavités dirigées vers les chélicères. Quatre paires de pattes chez l'adulte (trois chez la larve) sont inserées sur le céphalothorax, et portent une paire de griffes et une ventouse adhésive (pulville) à l'extrémité. Une plaque chitineuse ou écusson recouvre presque entièrement le corps du mâle

et, chez la femelle ou la larve, la partie antérieure du corps. Sans entrer dans le détail de l'anatomie, il faut remarquer qu'en bien des points l'ovaire est au contact des cœcums du tube digestif, ce qui permet d'expliquer avec quelle facilité les micro-organismes, comme les Piroplasmes et Spirochètes, peuvent passer du tube digestif dans l'ovaire et éventuellement dans l'œuf.

Les tiques sont des parasites temporaires répandus dans toutes les parties du monde, vivant par moment libres dans la nature et s'attaquant à divers Vertébrés homéothermes, dont l'Homme, pour se nourrir de leur sang ; elles peuvent alors rester fixées par leur rostre sur leur hôte pendant plusieurs semaines. Suit l'accouplement qui consiste, pour les mâles, à déposer un spermatophore au niveau de l'orifice génital femelle. Cette dernière pond ensuite, à terre, plusieurs milliers de petits œufs ellipsoïdes avant de mourir. Après un temps variable selon les conditions d'humidité et de température, il éclot de ces œufs de petites larves hexapodes pourvues d'un petit écusson dorsal. Très actives, elles grimpent au sommet des herbes pour attendre le passage d'un hôte convenable auquel elles se fixent pour se gorger de sang, puis muer à terre et rechercher un autre hôte. Les ricins se développent ainsi sur 3 hôtes accomplissant deux mues sur le sol : il y a un hôte pour la larve, un autre pour la nymphe (larve octopode), un troisième pour l'adulte. Les hôtes des *Ixodes ricinus* sont des Oiseaux et des Mammifères, et surtout Mouton, Chèvre, Cheval, Chien, Chat, ainsi que l'Homme et le Gibier.

Les tiques perforent la peau des animaux attaqués au moyen de leurs chélicères, puis se fixent en écartant ces chélicères et en enfonçant l'hypostome à crochets dans la plaie. Leur action directe est gênante dans les élevages où les animaux sont agités, se frottent contre divers supports pour se débarrasser de ces parasites ; souvent ils maigrissent et s'affaiblissent. Mais ces parasites sont surtout de dangereux propagateurs d'agents infectieux, et entre autres de la Piroplasmose bovine (Protozoaire Hémosporidé).

— La lutte prophylactique indirecte dans la nature réside dans la détérioration des conditions écologiques favorables à la survie et à la dissémination des œufs, des larves et des adultes : le débrouissallement, la culture du sol, la rotation des pâturages et aussi l'élimination ou la surveillance des animaux domestiques ou sauvages, hôtes occasionnels et réservoirs d'infestation.

Il existe par ailleurs dans ce cas des possibilités d'action prophylactique directe : la surveillance du cheptel, tout d'abord, permet l'enlèvement et la destruction directe des parasites, sans intervention curative vétérinaire. En plein air certains insecticides possèdent une bonne activité contre ce parasite, et répandus sur les broussailles l'éliminent avant son attaque ; il en est de même pour les produits de désinfection plus radicaux, utilisables dans les étables. Il faut noter enfin qu'il existe des ennemis naturels, tel *Hunterellus hookeri* (cet Hyménoptère pond dans le corps des nymphes et des œufs ; sa larve s'y développe en endoparasite détruisant l'Ixode) et la possibilité d'application d'une méthode de lutte biologique ne peut, en conséquence, être exclue.

Au total, cet Acarien, comme la plupart des Arthropodes parasites a une niche écologique très large et peut facilement être atteint par les moyens prophylactiques. Mais l'étendue même de cette niche rend cette lutte onéreuse et fort limitée dans ses résultats, puisqu'il subsistera toujours soit des surfaces non atteintes par les moyens physiques et culturaux ou les traitements chimiques, soit des hôtes sauvages, réser-

voirs d'infection. Il n'est d'ailleurs sans doute pas désirable d'éliminer entièrement l'espèce sur une grande étendue, car le potentiel biotique élevé et l'existence de parasites naturels montre que la destruction naturelle, en dehors de l'application de méthodes artificielles, est fort importante : or éliminer entièrement l'espèce c'est décimer ses parasites naturels qui, après réinfestation, présenteront au mieux une reprise d'activité fortement décalée et retardée par rapport aux tiques.

2. — Strongyloïdes papillosus : *la strongyloïdose gastro-intestinale des ruminants*

— L'un des principaux groupes de parasites des animaux est constitué par les Némathelminthes, organismes vermiformes dont certaines espèces provoquent des affections gastro-intestinales graves. Ces vers allongés, cylindriques ne sont pas métamérisés et ne comportent ni appendices, ni soies. Ils sont revêtus d'une cuticule chitinoïde épaisse (d'où absence presque totale de cils) leur permettant de résister aux sucs digestifs. L'inextensibilité de cette cuticule explique la nécessité de mues de croissance. Une couche musculaire sous-jacente permet les déplacements. Dépourvus de cœlome, ces vers ne présentent ni vascularisation, ni système respiratoire. Ils renferment cependant un tube digestif simple, sans annexes, avec une bouche antérieure entourée de lèvres, puis un œsophage ayant un rôle de pompe aspirante, un intestin et un anus postérieur. Un pore excréteur situé en arrière de la bouche réunit 2 longs canaux d'excrétion. Les organes génitaux sont simples, les sexes séparés (fig. 1).

L'adaptation des strongyloïdes à un hôte réceptif donné n'est pas absolue, et il n'existe en général qu'un hôte préférentiel. Par exemple *Strongyloïdes papillosus* qui parasite normalement les Ruminants, peut aussi infester entre autre le Lapin, l'Homme. Il faut remarquer à ce propos que les données écologiques, sans doute d'ordre biochimique, qui règlent ces préférendums, nous seraient extrêmement précieuses dans l'élaboration de méthodes d'intervention prophylactique ; elles sont aujourd'hui encore inconnues et au surplus peu étudiées.

• Les parasites adultes vivent dans l'intestin grêle de leurs hôtes, surtout dans la région duodéno-jéjunale. Les vers se creusent des galeries dans l'épithélium glandulaire ou dans la sous-muqueuse, ou bien se réfugient dans les tissus glandulaires. Les formes adultes trouvées sont uniquement des femelles qualifiées de strongyloïdes en raison de la structure de leur œsophage dépourvu de l'appareil valvulaire rhabditoïde caractéristique des formes vermineuses libres. Ces dernières, ainsi d'ailleurs que quelques mâles, n'ont été trouvées que rarement dans les poumons ce qui a donné lieu à l'établissement de diverses hypothèses plus ou moins plausibles concernant le développement possible sur divers organes. Cependant la nutrition normale des femelles strongyloïdes se fait à partir du tissu intestinal, et il ne semble pas que ces parasites soient hématophages.

• La reproduction, en l'absence de mâles, se fait obligatoirement par hermaphroditisme ou parthénogenèse. Bien que la question ne soit pas définitivement résolue, aucune formation pouvant être comparée à un appareil reproducteur mâle associé à l'appareil femelle n'a été trouvée ; cette hypothèse a pourtant été envisagée par comparaison avec des parasites voisins Rhabdiasinés connus chez les Reptiles et les Amphibiens. Une autre hypothèse, peu vraisemblable également, est celle d'une

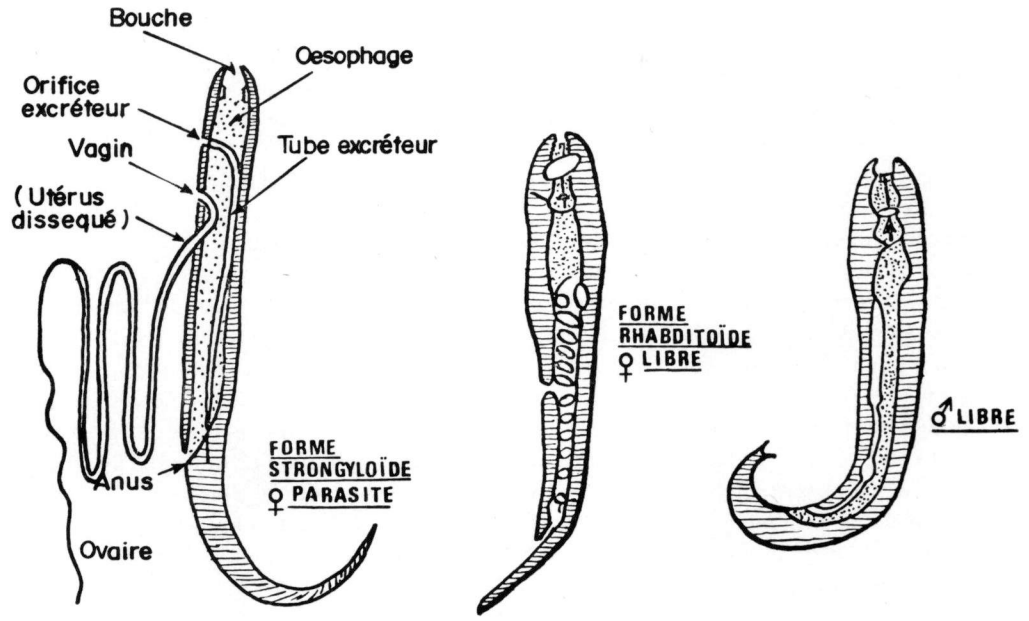


FIG. 1. — *Strongles*

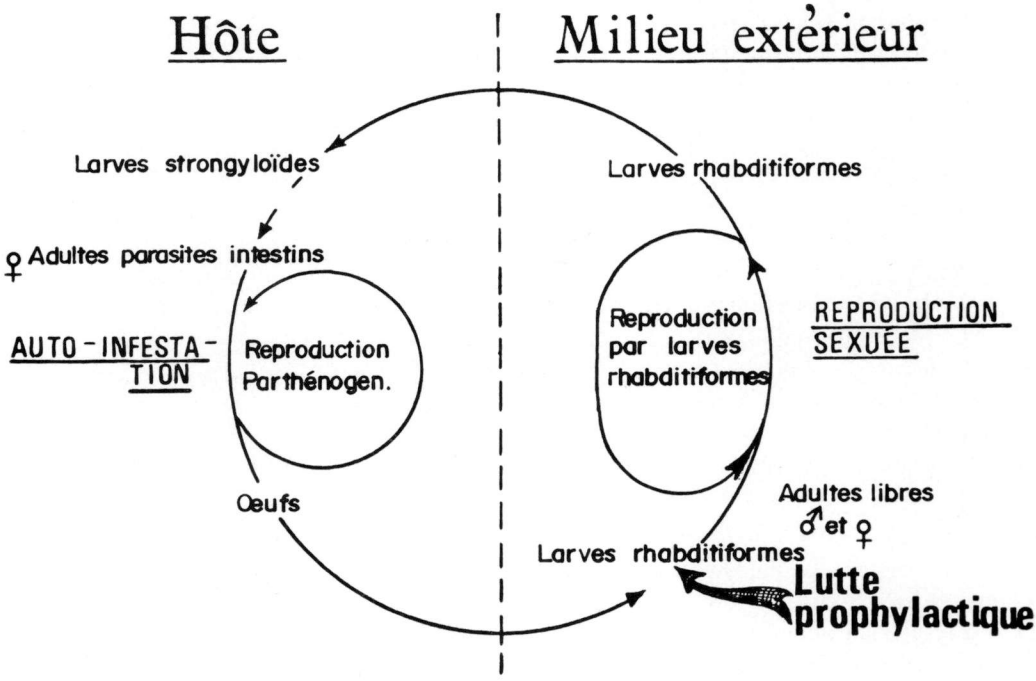


FIG. 2. — *Cycle évolutif des strongles*

copulation avec des formes rhabditoïdes (libres) mâles, forme qui n'a cependant été trouvée qu'accidentellement. La reproduction est donc, en toute logique, parthénogénétique, et c'est ce qu'indique d'ailleurs l'équipement chromosomique triploïde de ces femelles, résultat de la fécondation d'ovules diploïdes (formés sans réduction chromatique) de femelles de la génération rhabditoïde libre par des spermatozoïdes haploïdes des mâles de cette génération.

Les femelles strongyloïdes enfouies dans l'épithélium glandulaire y déposent une quantité relativement réduite d'œufs (environ 50 par jour). Ces œufs sont de 2 types, soit haploïdes, soit diploïdes : les premiers sont à l'origine de mâles rhabditoïdes libres ; les autres produisent des femelles, les unes également rhabditoïdes libres, mais encore une seconde catégorie, du point de vue de la gravité de l'infection très importante, des femelles strongyloïdes autoinfestantes se reproduisant sur place. C'est à partir des œufs expulsés sous forme d'œufs embryonnés, à la faveur de l'écoulement des petites ulcérations des muqueuses qu'ils provoquent, qu'il éclot, au bout de quelques heures, les larves rhabditoïdes. Celles-ci sont caractérisées par une bouche réduite suivie d'un œsophage tubulaire à paroi épaisse, terminé par un bulbe avec un appareil valvulaire, cet ensemble représentant un tiers de la longueur du tube digestif alors que la partie postérieure se termine en fine pointe aiguë.

- Le cycle comporte donc pour ces Strongles 2 phases :
  - — une phase exogène, dans le milieu extérieur ;
  - — une phase endogène, dans l'organisme de l'hôte.

1. Au cours de la phase exogène qui se déroule dans le milieu extérieur et qui exige une certaine humidité, mâles et femelles s'accoupleront et produiront des œufs à l'origine de petites larves rhabditoïdes secondes. Cette génération sexuée rhabditoïde libre dans le milieu extérieur est issue d'un cycle indirect hétérogonique. Il semble qu'il ne puisse y avoir qu'une seule génération libre, les petites larves rhabditoïdes issues de cette génération devenant, après retour sur l'hôte, des larves strongyloïdes infestantes ; elles auront pénétré chez l'hôte soit par voie buccale (rarement semble-t-il) avec la boisson et les aliments, soit le plus souvent par voie transcutanée. Les larves accomplissent alors en général une rapide migration pulmonaire (4 à 10 jours chez les bovins mais 17 à 20 jours chez l'Homme qui ne semble donc pas être l'hôte normal) ; puis elles arrivent dans le tube digestif, subissant au moins une transformation physiologique qui leur permettra de s'adapter au milieu intestinal.

2. La phase endogène parasite ne comporte que des femelles. Ces formes strongyloïdes, à reproduction donc parthénogénétique, qui ont pour origine les petites larves rhabditoïdes infestantes, peuvent être chez un hôte réceptif à l'origine d'une nouvelle contamination en cycle direct homogonique ; le résultat en sera une autoinfestation et une hyperinfestation, processus véritablement infectieux, particulièrement grave, très souvent mortel (fig. 2).

La caractéristique déterminant l'une ou l'autre de ces phases du cycle évolutif est à l'origine, comme nous l'avons vu, de nature génétique. Cependant les déterminismes conduisant à la production de femelles libres comprennent des facteurs écologiques liés au milieu intérieur de l'hôte et agissant sans doute, en partie du moins, au travers des conditions de nutrition des larves : dans de « bonnes conditions », celles-ci évolueront vers la formation de femelles rhabiditoïdes, dans de « mauvaises conditions » elles se transformeront directement en larves infestantes. Ici encore,

des précisions concernant ces « bonnes ou mauvaises conditions » nous seraient des plus précieuses. On ne peut que retenir aujourd'hui les hypothèses de l'action de substances particulières résultant, soit d'un métabolisme intermédiaire anormal ou déficient, soit de l'apport de substances inusitées (substances hormonales végétales, coumarines, etc.). L'auto-infestation de formes strongyloïdes semble favorisée par des défaillances de l'organisme parasité (tuberculeux, dysentérique, etc.) liées à des modifications du milieu intestinal ; en effet, dans ces conditions également a lieu la transformation en masse, immédiate et prématurée des larves rhabditoïdes infestantes en larves strongyloïdes. La formation, par ailleurs, de larves infestantes dans le milieu extérieur exige certaines conditions abiotiques : une température élevée et une humidité importante. Elle peut éventuellement avoir lieu en milieu anaérobie, mais la privation d'oxygène exerce un effet nocif sur les éléments infestants qui perdent leur mobilité. La possibilité qu'ont les larves rhabditoïdes de muer en anaérobiose peut expliquer la genèse des larves strongyloïdes à partir de formes rhabditoïdes infestantes dans l'intestin des individus parasités.

Les strongyloïdoses sont caractérisées par des symptômes d'entérite aiguë catarrhale, parfois hémorragique, auxquels sont associés avec plus ou moins d'intensité des troubles cutanés et respiratoires ; les animaux maigrissent souvent progressivement, sont anémiés, et plus particulièrement les jeunes bovins de 1 à 2 ans meurent dans une proportion pouvant atteindre 50 p. 100. Elles sont surtout fréquentes en pays chauds et humides, régions tropicales et subtropicales dont les conditions écologiques semblent donc particulièrement favorables ; mais si leur fréquence est moindre dans la zone tempérée, leurs méfaits y sont encore considérables, surtout dans les régions chaudes, humides et ombragées, dans des pâturages humides et riches en matière organique. Des locaux humides, privés de soins réguliers d'hygiène (litières souillées) également présentent un facteur favorable aux formes infestantes, ainsi d'ailleurs que les collectivités surpeuplées. Les strongyloïdoses, malgré leur relative fréquence, sont en général méconnues en médecine vétérinaire puisque la symptomatologie de caractère aigu évoque plus celle d'une entérite infectieuses que celle d'une entérite vermineuse, d'autant plus que cette dernière est souvent accompagnée de complications bactériennes, et également puisque la coprologie ne permet pas toujours de déterminer les œufs de petite taille (environ 50 μ de diamètre). L'application de mesures prophylactiques sera donc d'autant plus efficace que ces affections ne sont en général reconnues que bien trop tard.

— Quelles mesures de prophylaxie indirecte peut nous inspirer la situation du cycle biologique du parasite dans le milieu pâturage ? Deux modes d'action émergent de cette connaissance :

• Action au niveau des hôtes : Une densité réduite d'animaux et de longues interruptions d'exploitation en herbage sont très néfastes au parasite puisqu'ils tendent à la rupture ou du moins à la distorsion de son cycle naturel. Il est recommandé en outre de remplacer, sur les herbages infectés, les Bovins par des chevaux qui ne sont pas infestés par les espèces parasites des Bovins, mais bien au contraire en détruisent de nombreuses espèces en les ingérant ; il n'est pas impossible au surplus, que cette espèce non infestante pour le Cheval provoque des phénomènes d'immunisation sur ce dernier vis-à-vis de la strongyloïdose des Équides.

Une autre action efficace est celle qui consiste à modifier les conditions écologiques nécessaires à diverses phases du cycle : l'assèchement des herbages maréca-

geux ou très mouillés, et également des mouillères au milieu des pâturages sains. L'inclusion d'herbages dans un assolement long, comportant des cultures sarclées ou céréalières, est évidemment une solution de choix, ces dernières cultures assèchant fortement la surface du sol.

• La prophylaxie directe, sur un parasite à niche écologique restreinte, comportera des applications bien plus réduites dans l'espace que dans notre exemple précédent de parasite très mobile et cosmopolite. C'est bien la phase libre, œuf et larve rhabditoïde, qui peut être éliminée par des mesures de prophylaxie. L'hygiène rigoureuse des étables, l'élimination régulière du fumier, le nettoyage des animaux souillés doit éviter en premier lieu la contamination par les œufs émis avec les excréments. La désinfection d'herbages, si elle semblait indispensable dans le cas d'infection effective et pas non plus dénuée d'intérêt lorsqu'elle était appliquée de façon préventive avec des produits qui peuvent être épandus en hiver, durant une période où la pression de travail à la ferme est basse, apparaît aujourd'hui d'une efficacité douteuse.

Lorsque nous élargissons le problème aux Némathelminthes en général, nous devons constater que, contrairement au cas des Arthropodes, les diverses espèces de Nématodes parasites présentent des adaptations plus ou moins profondes à leur hôte ; il en résulte des cycles fort diversifiés selon les espèces. Mais il existe une ligne d'évolution générale reliant le type rhabditoïde libre, qui se multiplie dans le milieu extérieur, au type strongyloïde se développant en parasite sur un hôte. Le cycle primitif hétérogonique comporte la succession régulière d'une génération libre saprophyte, facilement atteinte par les moyens prophylactiques, et d'une génération parasite.

Par la suite, le cycle peut perdre l'une des phases et devenir homogonique, soit en s'effectuant entièrement en saprophyte dans le milieu extérieur (et ces espèces ne présentent alors plus de phase parasitaire), soit en raccourcissant la phase réinfestante : le développement embryonnaire dans l'enveloppe de l'œuf est fortement prolongé, les larves vivant sur des réserves vitellines, et la réinfestation se fait sans stade de vie actif, soit à partir d'une larve subsistant dans sa mue, ou directement par l'œuf. Dans ce cas, la lutte prophylactique est souvent des plus difficiles puisque ces organismes, peu actifs, sont protégés au surplus par des enveloppes inertes de kystes ou de la mue. La partie parasitaire du cycle d'auto-infestation de formes parasites se multipliant sur l'hôte, et qui complique parfois ce cycle, est en dehors de l'action prophylactique.

Des adaptations plus spécifiques peuvent en outre compliquer ces systèmes d'évolution avec le passage par un second hôte et des phases libres plus ou moins réduites, voire absentes. Dans ce cas, l'action prophylactique pourra, en théorie, viser non seulement le stade libre de dissémination (quand il existe), mais également l'hôte secondaire, agent disséminant actif ; ce dernier est parfois un Invertébré (le Culex pour la Filaire de Bancroft, un Cyclops pour la Filaire de Médine), parfois un Vertébré (le Rat pour le Trichine spirale). Mais si en fait les possibilités de lutte augmentent, leur efficacité est souvent réduite vis-à-vis d'un agent propageant très mobile et actif, largement répandu, réservoir d'infestation difficile à anéantir ; les résultats d'une lutte prophylactique seront souvent réduits dans l'espace et le temps, tout comme pour les Arthropodes qui présentent une aire de répartition et de dispersion comparable.

Ces quelques observations, qui montrent la complexité et la variabilité des cycles de diverses espèces de Némathelminthes, profondément adaptés déjà à leur biocénose

et à leur hôte, permettent de mettre l'accent sur la nécessité de connaître l'espèce parasite et sa biologie avant de pouvoir appliquer, avec quelques chances de succès, des méthodes prophylactiques de lutte. C'est loin d'être le cas pour un grand nombre de Némathelminthes parasites des animaux d'élevage.

3. — Fasciola hepatica : *la Grande Douve du foie*

— Un autre groupe de vers parasites comprend des espèces planes, à corps parfois segmenté, sans appendices. Ce sont les Plathelminthes ou vers parenchymateux, puisque leur adaptation encore plus profonde au parasitisme en a fait des vers sans cœlome, sans appareil circulatoire ni respiratoire. Ils comportent parfois un tube digestif qui n'a souvent qu'un orifice, un système nerveux et un appareil excréteur rudimentaire : ces vers sont réduits en somme à un organisme digestif régressé au maximum, (l'absorption des aliments se faisant alors par toute la surface de leur corps) et à un organisme reproducteur hermaphrodite. Les formes parasites présentent souvent un cycle à deux hôtes, dans de nombreux cas un Vertébré d'un côté, un Invertébré de l'autre.

La Grande Douve du foie est un animal à l'aspect foliacé d'un ovale aplati, élargi en avant, atténué et obtus en arrière, non segmenté. Ses dimensions sont d'environ 25 mm × 10 mm. L'extrémité antérieure comporte une petite ventouse buccale arrondie et une seconde ventouse ventrale de fixation un peu plus grande, triangulaire. Cette espèce s'attaque aux Bovins, surtout aux Ovins, également aux Porcins et aux Lagomorphes, rarement à l'Homme. Divers Gastéropodes Pulmonés, et surtout les Limnées constituent les hôtes intermédiaires. L'évolution assez compliquée comprend souvent de nombreuses formes évolutives.

Schématiquement, le cycle peut se résumer ainsi : l'œuf operculé, déjà segmenté à la ponte, est évacué avec les fèces des Vertébrés attaqués et doit arriver dans l'eau où il évolue alors vers un embryon cilié ou miracidium qui sort de la coque après un temps variable. Ce miracidium, libre dans l'eau, nage à la recherche de l'hôte secondaire et pénètre, lorsqu'il a trouvé une Limnée, dans sa cavité respiratoire ; il y perd ses cils et se transforme en une masse cellulaire irrégulière appelée sporocyste. Dans ce massif de cellules se différencient des organismes pourvus d'un tube digestif simple et d'une ventouse : les rédies, résultat d'une première multiplication. Ces rédies issues du sporocyste envahissent le foie du Mollusque, et selon les conditions, se multiplient encore en rédies filles. Les rédies sont à l'origine des cercaires possédant un intestin bifurqué, deux ventouses et une queue ; les cercaires quittent l'hôte secondaire et se déplacent dans l'eau. Puis ils s'enkystent passant à l'état de métacercaires sur des plantes aquatiques plus ou moins immergées avec lesquelles ils sont ingérés par l'hôte définitif. Sur ce dernier ils s'établissent surtout dans les canaux biliaires, se nourrissant de sang ; ils s'y reproduisent enfin, émettant des œufs en très grand nombre.

Chez les Ovins, après une période de faiblesse suit une période d'amaigrissement, à la suite de péritonites ou de périhépatites, puis une période de cachexie avec souvent des avortements, chute de la laine et après au plus 6 mois, mort par épuisement dans 25 à 75 p. 100 des cas. Les Bovins réagissent en général mieux et chez eux la maladie est souvent bien moins grave du fait de la plus grande résistance de ces animaux présentant des conduits plus volumineux.

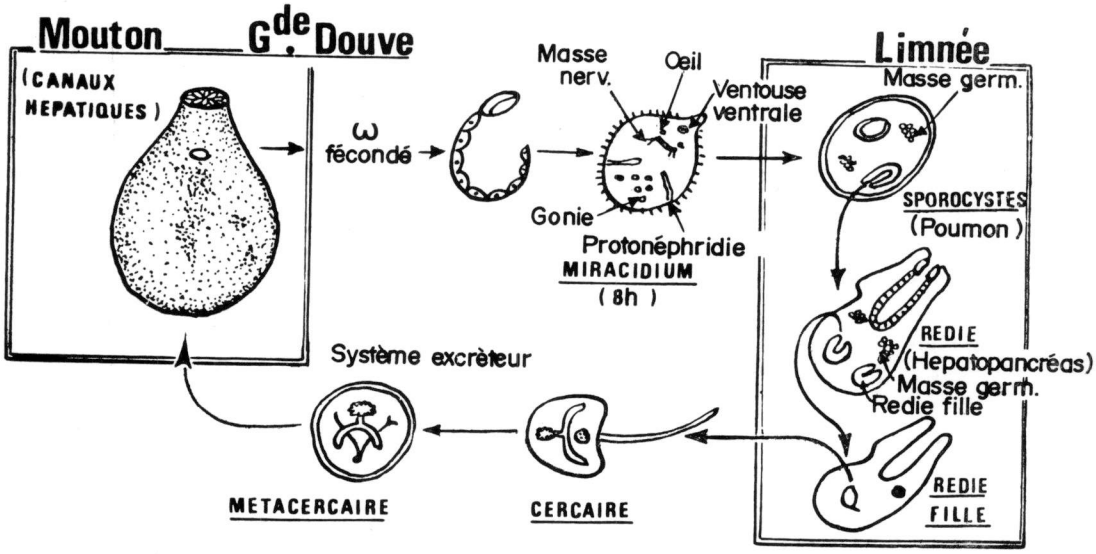


FIG. 3. — *Cycle de* Fasciola hepatica

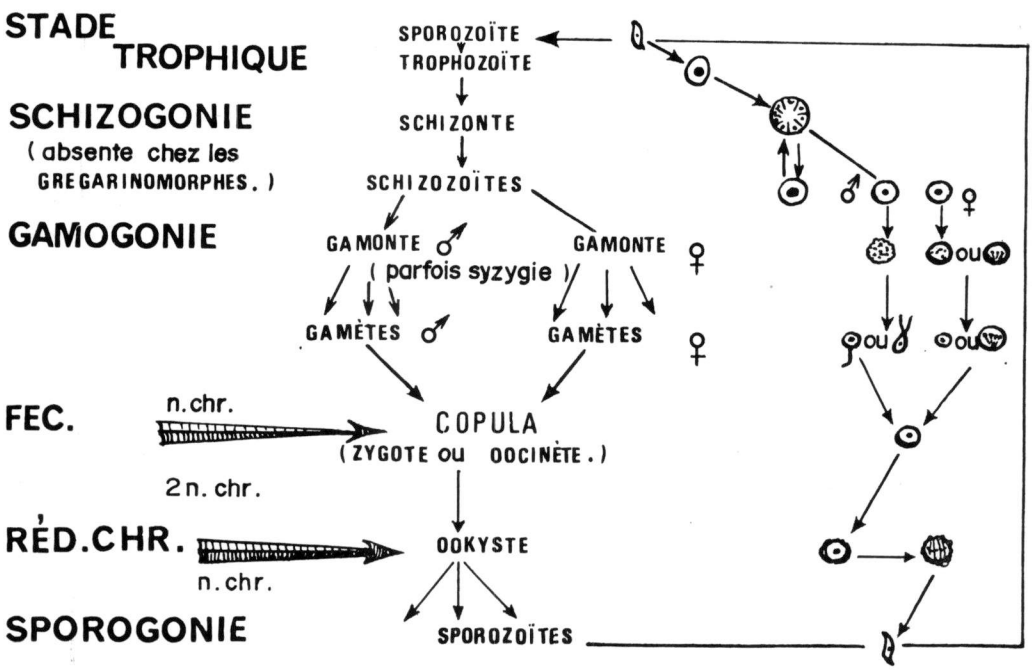


FIG. 4. — *Multiplication chez les Sporozoaires*

— La prophylaxie indirecte, comme dans le cas précédent, consistera à créer des conditions abiotiques ou biotiques néfastes au développement du parasite en alternant les pâturages, en remplaçant les moutons par des chevaux beaucoup moins sensibles ou en asséchant les prés trop humides.

Une action préventive directe sera menée par la surveillance de l'hygiène des étables, l'enlèvement régulier des excréments, éventuellement la désinfection du fumier et le traitement des pâturages (sulfate de fer) visant à éviter la dissémination des œufs. En cas d'introduction d'animaux étrangers, un examen coprologique et un traitement préventif seront des plus utiles.

Les stades de dissémination mobiles, avant et après le passage par le Mollusque, hôte intermédiaire (miracidium et cercaire), pourront être éliminés par la surveillance des points d'eau et de l'eau de boisson, la prohibition des pâturages contaminés, surtout pendant l'automne.

Il est enfin possible de s'attaquer à l'hôte intermédiaire, la Limnée. Dans la mesure où l'espèce entrant dans ce cycle parasitaire est déterminée avec précision et que les conditions écologiques de son développement sont connues (ce qui n'est pas encore le cas, du moins en Europe) des méthodes spécifiques d'élimination pourraient être mises au point. Dans l'état actuel de nos connaissances nous ne pouvons encore appliquer que des méthodes brutales, à large spectre d'action. Des essais au laboratoire et en plein champ ont permis de trouver quelques produits antimollusques valables, bon marché, stables, inoffensifs pour l'Homme et les Vertébrés, tels les sulfates, des chlorophénates et des carbonates.

Pour élargir quelque peu le problème à d'autres espèces, il faut relever dans le cas des Plathelminthes également une grande diversification des cycles ; si la dissémination par l'œuf est générale, et amène donc les mêmes mesures prophylactiques de rotation, d'assèchement des herbages et d'hygiène de l'étable, la propagation de la forme infestant les Vertébrés est fort variée ; elle se fait :

— soit par ingestion, de la part de l'hôte définitif, de l'hôte intermédiaire (c'est le cas de *Leuchochloridium macrostomum*, Douve des oiseaux et de *Dicrocœlium lanceolatum*, Petite Douve du foie) ;

— soit par pénétration active cutanée, par effraction, comme c'est le cas de cercaires de *Schistosoma* (*Bilharzia*) Douve du système veineux ;

— soit, après enkystement dans l'eau ou sur une plante aquatique, passage passif par les voies buccales de l'hôte définitif qui les absorbe lorsqu'il boit de l'eau ou ingère des plantes contaminées ; c'est le cas de *Fasciola hepatica* ;

— soit enfin par l'intermédiaire d'un deuxième hôte secondaire : ces formes, après avoir quitté le Mollusque, leur premier hôte intermédiaire, pénètrent activement chez un autre hôte, agent de dissémination sur lequel elles s'enkystent en attendant d'être ingérées avec l'animal qui les renferme par l'hôte définitif ; cette infestation est par exemple celle de *Clonorchis sinensis*, Douve des canaux biliaires et du pancréas, dont le miracidium, sporocyste et cercaire évolue chez *Bithinia*, un Mollusque, absorbé par un Cyprinidé (Carpe), amenant le métacercaire à l'Homme lorsque celui-ci consomme le poisson.

Dans le cas de pénétration passive par ingestion de la forme infestante ou de l'hôte qui la contient, des mesures prophylactiques pourront être appliquées avec une relative facilité et de bonnes chances de succès, le lieu et le moment d'application étant nettement délimités. Dans le cas de pénétration par effraction, ces mesures,

appliquées alors obligatoirement sur des espaces très larges, rejoindront les cas déjà cités pour les Arthropodes et certains Némathelminthes ; l'efficacité sera alors restreinte, en aucun cas complète.

4. — Microbabesia bovis : *la Piroplasmose bovine*

— Parmi les Protozoaires, premiers organismes animaux apparus sur notre planète, de nombreuses formes, extrêmement diversifiées quant à leur morphologie, anatomie et biologie se sont adaptées à la vie parasitaire. L'ancienneté, la simplicité des structures et des besoins écologiques limités au départ expliquent que des cycles fort variés, tels ceux rencontrés aujourd'hui, ont pu résulter de la sélection adaptive sur des hôtes très divers qui ont eux aussi évolué. Un groupe de Protozoaires, les Sporozoaires, se distingue cependant puisqu'il ne renferme que des formes parasites obligatoires, durant un stade au moins. L'ordre des *Eimeriidea* renferme des parasites intestinaux et des parasites sanguicoles : c'est parmi ces derniers, les Hémosporidies, que nous avons choisi notre exemple.

Ce Protozoaire de très petite taille (1 à 5 μ) parasite les hématies des Bovins. De forme sphérique, ovoïde ou piriforme, il renferme un noyau plus ou moins allongé. Le cycle de *Microbabesia* est assez complexe : le parasite est transmis sous forme de sporozoïte par les tiques et surtout *Ixodes ricinus* qui l'introduit au moment de la piqûre. Il semble que ce petit organisme soit à l'origine d'une première génération de schizontes dans le système réticulo-endothélial (rate, foie, capillaires) ; après infestation des hématies et absorption d'hémoglobine il y a encore division et formation de nouvelles générations de schizozoïtes qui ont parfois été trouvés, en disposition rayonnée, dans les hématies (de façon analogue à la disposition de *Plasmodium falciparum*, agent du paludisme). C'est la rupture des hématies, à la suite de cette multiplication, qui libère des substances de déchets et surtout l'hémozoïne, normalement phagocytée avec les hématies usées ; mais, lorsqu'elle est très abondante, par suite de fortes infestations et de l'éclatement synchrone des hématies, elle provoque des troubles graves. Après un certain nombre de telles générations trophiques, ou dans des conditions de milieu particulières encore peu connues, certains schizozoïtes de l'hématie produiront des microgamontes à l'origine des gamètes mâles et des macrogamontes à l'origine du gamète femelle. La suite de l'évolution est alors impossible chez les Vertébrés.

Le stade gamogonique passe, lors de l'absorption du sang au moment du repas de l'Ixode, dans le tube digestif, puis la cavité générale. Les microgamontes, par perlage, produiront alors des spermatozoïdes fécondant le gamète femelle, d'où obtention d'un œuf, un oocinète amoeboïde, puis d'un ookyste. La subdivision du contenu de l'ookyste produira des sporoblastes, puis de très nombreux sporozoïtes migrant vers les glandes salivaires où ils seront prêt à infester à nouveau les Bovins lors de leur injection au moment de la piqûre de la tique.

L'attaque massive de la forme aiguë, après incubation de 5 à 28 jours (temps nécessaire à la multiplication trophique), provoque un état fébrile, l'hémoglobinurie, de l'ictère. La mortalité dépasse souvent 50 p. 100. Il semble exister une forme chronique qui se développe en 2 à 6 mois, n'amenant pas les symptômes précédents, mais seulement une anémie et un amaigrissement plus ou moins poussés.

— Ce cycle ne laisse aucune place pour une intervention sur le parasite au tra-

vers du milieu extérieur, puisque à aucun moment il n'existe de stade libre. L'action prophylactique ne pourra donc être que directe et elle ne pourra intervenir qu'au niveau de l'hôte intermédiaire, *Ixodes ricinus* (nous en avons parlé lors de l'étude de ce parasite).

Cependant dans le cas des Protozoaires, et dans le cas étudié en particulier, il est possible d'appliquer des méthodes prophylactiques spéciales de vaccination consistant à déterminer une atteinte légère d'animaux sains, ce qui produit un état de résistance relatif. Ce résultat est obtenu, soit par inoculation aux veaux d'une quantité réduite de Piroplasmes (par des tiques infestés ou du sang de convalescents), par injection de souches cultivées atténuées ou par production de Piroplasmose expérimentale traitée immédiatement, avant généralisation de l'atteinte. Certains travaux laissent d'ailleurs supposer que cette méthode pourrait donner des résultats même chez les parasites métazoaires comme les Helminthes.

IV. — PROPHYLAXIE D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

Les mesures de prophylaxie reposent aujourd'hui en grande partie sur les connaissances écologiques fragmentaires concernant :

— les possibilités de migration et de dissémination du parasite ;

— l'habitat et la répartition, ainsi que les conditions agissant sur l'alimentation, sur la reproduction et sur la résistance au milieu naturel. Ces données doivent être recueillies aussi bien pour la phase d'état sur le Vertébré hôte primaire, qu'éventuellement sur l'hôte secondaire et pour les phases de dissémination ou infestantes, lors des passages dans le milieu extérieur. La somme des connaissances de cette nature reste encore incroyablement faible. Il en résulte que nos moyens d'action actuels restent assez généraux, s'apparentant plus à la prophylaxie indirecte qu'à des modes d'action plus précis, et dans la pratique les méthodes directes, elles-mêmes encore assez larges, ne se différencient que difficilement des méthodes prophylactiques indirectes.

— L'étude des quelques exemples précédents montre la complexité du problème du choix de méthodes prophylactiques efficaces. Du point de vue de l'utilisateur, il serait évidemment souhaitable de trouver des applications assez générales pour englober la lutte contre, sinon tous, du moins un grand nombre de parasites communs à une niche écologique d'une région donnée. C'est ce que réalisent en fait les méthodes de prophylaxie indirecte qui interviennent au niveau des systèmes de culture en y apportant quelques variations raisonnées ne modifiant pas la rentabilité, plus particulièrement pour ce qui est de l'hygiène des herbages. En cette matière deux aspects essentiels sont à prendre en considération :

— le nombre des animaux à admettre au pacage ;

— les modalités d'élevage.

Le nombre des animaux à admettre : il est bien connu que la conduite des pâturages (espèces végétales, coupes, etc.) et le peuplement des prairies font varier dans de très fortes proportions le taux d'infestation de celles-ci en œufs, kystes et formes infestantes, et en conséquence la contamination des animaux. Le nombre

des individus à admettre par unité de surface n'est évidemment pas fixe, mais ce doit être une valeur déduite de l'évaluation des divers facteurs définissant la biocénose des pâturages en question :

- l'humidité naturelle et les précipitations ;
- la richesse du sol ;
- la vitesse de croissance de sa végétation ;
- les espèces mises au pâturage, etc.

Le changement fréquent des aires de pacage avec séjour très court dans chacune d'elles a pour but d'éviter surtout la surinfestation d'animaux par des œufs formés à partir de parasites ayant terminé leur cycle sur ces mêmes animaux et expulsés par eux. Le parcellage strict, le pâturage en bande ou « en avant » et la rotation des pâturages semblent être des méthodes apportant une solution favorable au problème. Le rythme de rotation peut, dans ce cas, être calculé en fonction de la connaissance d'un parasite particulièrement fréquent et des conditions climatiques du moment. SPEDDING et BRALEY par exemple préconisent un changement de parcelle tous les deux jours, ce qui est un rythme excellent pour ce qui est de la sécurité prophylactique mais ce rythme pose des problèmes pratiques concernant le nombre de parcelles à délimiter, l'intervalle de réutilisation si ce nombre n'est pas suffisamment élevé, et le nombre d'animaux à admettre par surface de pâturage (pour éviter les surcharges). Dans le cas de possibilités d'infestation par des Némathelminthes et des Plathelminthes, il semble raisonnable de faire pâturer une parcelle en 5 à 6 jours, puis d'abandonner la bande durant au moins 2 mois.

En complément de ces mesures, on peut ajouter le mélange des espèces qui évite aux individus réceptifs des chances d'infestation trop élevées et assure la destruction de nombreux œufs ou formes de dissémination par des hôtes non réceptifs : en effet la plupart des parasites sérieux sont fort spécialisés pour ce qui est de l'hôte.

Une solution consistant dans la ségrégation des jeunes, très sensibles en général aux atteintes des parasites, d'avec les adultes, est très controversée. En effet, de nombreux auteurs pensent que la présence d'adultes, moins sensibles et sur lesquels l'évolution du parasite est souvent abortive, permet la destruction de nombreuses formes infestantes émises par les jeunes, et en conséquence un certain assainissement, semblable à celui obtenu par le mélange des espèces. C'est là question sans doute d'appréciation du taux d'infestation des prairies. Quoi qu'il en soit, lorsqu'il existe des parasites enkystés sous forme résistante, le pâturage en début d'année des jeunes, mis au pré pour la première fois, est à proscrire ; ce sera le cas quand ce pré aura porté l'année précédente des adultes infestés, et ceci notamment durant les mois humides.

Pour ce qui est des modalités d'élevage, il semble que la question des heures de pacage revête une certaine importance. La plupart des formes de Protozoaires et d'Helminthes libres, en attente de pénétrer ou d'être absorbés par l'hôte, présentent des besoins hygrométriques élevés. On a longtemps pensé, en conséquence, qu'au début de la matinée, la rosée et une lumière diffuse étaient propices aux infestations. Il semble aujourd'hui que des déplacements ascendants de certaines formes infestantes aient lieu en fin de matinée (GEVREY, 1971) et que la température, dans un milieu où l'humidité relative reste forte (à l'intérieur de la végétation), soit un paramètre prépondérant. Il n'en va d'ailleurs pas autrement pour de nombreux Insectes piqueurs qui sont souvent bien plus gênants durant les heures chaudes. Le choix de l'heure d'admission au pâturage, lorsqu'il est possible (vaches laitières) devra se faire, en tout

état de cause, en fonction des conditions écologiques agissant sur les déplacements et la dissémination des parasites les plus redoutés et les plus gênants.

— Une action plus directe, malheureusement à la mesure de l'indigence de nos connaissances de l'écologie des espèces parasites, réside aujourd'hui dans les interventions suivantes : Dans les régions, souvent attaquées la stérilisation des engrais naturels fumiers et résidus, surtout par la méthode biothermique sur des plate-formes drainées est à recommander. La répartition en couche mince, par temps sec, permettra également de détruire un maximum de larves.

Les herbages eux-mêmes devront faire l'objet, aussi bien dans le cadre de l'amélioration de la production végétale que de la production animale de drainages éliminant les eaux excédentaires, favorables à la majorité des parasites. Cette action doit cependant être raisonnée en fonction des données écologiques connues : il semble, par exemple, que les conduites de drainage puissent être des voies de dissémination de Mollusques hôtes intermédiaires. Des labours profonds tendent à la destruction des parasites par enfouissement dans le sol. Ils seront suivis de préférence par des cultures intermédiaires sarclées ou céréalières durant 2 ou 3 ans. Mais même un labour profond des vieilles prairies, suivi d'un réensemencement est une opération agronomique et sanitaire judicieuse. Des hersages pourront détruire par ailleurs les mousses, exposant à la lumière et à la dessication les parasites ; cependant, il semble que l'étalement des excréments soit en même temps un facteur de répartition de germes, de sorte que ces travaux n'atteindront avec certitude un but prophylactique qu'associés à des épandages chimiques. La dessication du fourrage également rentre dans le concert de ces mesures de prophylaxie : la résistance du métacercaire de la Grande Douve du foie sur foin humide est de 8 mois alors que sur foin sec elle n'excède pas 48 heures.

L'efficacité de divers produits chimiques (cyanamide calcique, sulfate de fer), épandus à la fin de l'hiver, à la saison de la mise au pré ou au moment du retrait d'eau d'inondation pour assainir les pâturages, surtout dans le cas d'une forte probabilité d'infestation, est aujourd'hui contestée. Des travaux, avec de nouveaux produits, sont à entreprendre dans ce domaine.

Il faut ajouter la lutte contre les hôtes intermédiaires et agents de dissémination, Insectes, Mollusques, Crustacés. Dans ce cas, il est nécessaire en général de connaître, après enquête épidémiologique, les espèces en cause afin de faire des applications judicieuses, économiquement valables.

Dans le cadre de ces mesures plus directes s'inscrit l'hygiène des points d'eau. La meilleure prophylaxie repose sur la construction d'abreuvoirs pourvus de margelles hautes, évitant les souillures par les excréments, et posés sur une aire cimentée, impropre au développement des parasites et facilement nettoyée. L'alimentation devrait se faire en eau potable, ou du moins en eau traitée. La contenance devra être suffisante pour ne pas permettre l'aération des couches d'eau inférieures, dépôt éventuel de parasites. Dans le cas d'abreuvoirs installés près de mares, fosses de ruissellement, cours d'eau, les accès devront être clôturés pour éviter les souillures et l'eau sera, dans la mesure du possible, stérilisée au sulfate de cuivre.

— En même temps que ces mesures de prophylaxie plus ou moins indirectes, des mesures offensives souvent s'attaquent plus précisément aux formes de parasites présents par le traitement des porteurs de germes, le traitement préventif et l'acquisition ou le renforcement de la résistance des animaux aux agents infestants.

Au départ, il est sage de considérer tous les animaux nouveaux venus sur une exploitation comme infestés *à priori*, de déparasiter les adultes avant la mise au pré et de mettre en quarantaine les jeunes durant un laps de temps plus ou moins long selon les parasites redoutés.

Les porteurs de parasites seront obligatoirement soumis au traitement, entre autre par mesure prophylactique d'élimination de germes. Dans le cas d'apparition régulière de certaines attaques, un traitement, surtout vermifugation dite « stratégique » sera appliqué de façon saisonnière régulière, systématique, au printemps, à l'automne et avant la parturition. Une intervention « tactique » (M. L. GORDON) complètera la précédente chaque fois que l'on pourra craindre une poussée d'infection par suite des pluies abondantes ou de surpeuplements occasionnels. Là encore la connaissance de l'écologie des cycles permettra d'apprécier la nécessité d'une intervention : en dessous d'une certaine densité de formes infectieuses, résultat pour une grande part du passage dans le milieu extérieur (action du froid, de la sècheresse, des luminosités faibles) les chances d'infection sont extrêmement faibles, ou réciproquement.

Il faut noter enfin que le renforcement de la résistance des animaux peut être obtenu par l'administration préventive de produits curatifs (par exemple antihelminthiques) ou le développement dirigé chez les animaux d'une résistance spécifique. Elle est obtenue par des contacts pauci-parasitaires qui sollicitent la mise en place de réactions contre des infestations plus massives. C'est ce qui peut être obtenu par la mise au pâturage précoce à la fin de l'hiver, avant que le développement printanier des formes infestantes ne devienne par trop exubérant. Il existe également dans certains cas des possibilités, souvent peu explorées, de vaccination par l'administration de parasites peu nombreux ou à virulence atténuée.

Il semble cependant bien évident que si les méthodes prophylactiques indirectes dont nous parlions plus haut jouent un rôle général d'assainissement favorable au milieu de production, certaines méthodes directes ci-dessus, au contraire, présentent le plus souvent toutes les caractéristiques des interventions irrationnelles du point de vue écologique, et elles devront être modifiées radicalement. Les traitements « *a priori* », des non-sens autant économiques qu'écologiques, pourront et devront disparaître au fur et à mesure que nos connaissances des parasites et de leurs cycles se feront plus précises. Cependant dans l'état actuel de nos connaissances elles représentent malheureusement encore une assurance plus ou moins indispensable pour la rentabilité à court terme de certains élevages.

Au total, nous pouvons retenir que quelques adaptations culturales peu onéreuses pourront souvent éviter des infestations graves ou chroniques et que le parasite apparu, il existe des règles prophylactiques de lutte élémentaires pour éviter sa généralisation. Mais face à des marges bénéficiaires qui vont en se restreignant dès que des opérations secondaires prophylactiques quittent le domaine des techniques agricoles communes et des travaux habituels, elles pourront constituer une gêne budgétaire certaine. La seule méthode prophylactique de lutte rentable devra être, dans l'avenir, directe, mais fort différente des modes d'intervention directs d'aujourd'hui. Elle s'adressera à un ou à un nombre restreint de parasites parfaitement déterminés et connus. C'est dire que les applications de prophylaxie rentables ont un besoin très urgent de connaissances, notamment en ce qui concerne les cycles et l'écologie des parasites dans toutes leurs phases. Elle devra passer par des laboratoires de dépis-

tage pour les déterminations, et enfin, par l'instruction du cultivateur qui, connaissant l'évolution du parasite y adaptera, selon les moyens de sa ferme en main-d'œuvre et en matériel, les méthodes les plus efficaces et les moins onéreuses.

Ces possibilités d'intervention améliorées voire nouvelles, basées sur la connaissance de l'écologie des cycles parasitaires, connaissances qui se font jour peu à peu, ne doivent cependant pas nous leurrer quant à l'éventualité d'une victoire totale sur tel ou tel parasite. N'oublions pas la potentialité, indestructible chez la plupart des êtres vivants, de s'adapter au milieu. Ne citons dans ce cadre que les régulations biologiques des populations, suite à l'action de l'effet de groupe et de l'effet de masse. Une lutte efficace et économique devra toujours faire un usage raisonné de tous les moyens d'intervention. Et il n'est sans doute pas inutile de rappeler pour terminer, et sans vouloir minimiser l'importance de la lutte prophylactique indirecte lorsqu'elle est budgétairement valable, ni de la lutte prophylactique directe lorsqu'une attaque de parasites se précise, ces paroles des plus judicieuses de ALLAN FRASER qui dit en substance : « Occupez-vous de nourrir vos animaux, et ils se chargeront bien souvent de neutraliser leurs parasites. »

Reçu pour publication en septembre 1974.

SUMMARY

ECOLOGY OF THE PARASITES OF ANIMALS DURING BREEDING

Prophylactic methods based on sound ecological knowledge of the parasites of animals during their breeding, would be a great asset in preventing heavy losses and expensive veterinary action. The smaller or greater — and consequently more or less close — dependence on a group of hosts or on a particular species of the main ecological classes, results in more or less direct action.

The expected success is generally more limited in the case of indirect prophylactic methods applied on the environment in which parasites have developped recently, than when precise and more delicate action has been exerted on the immediate environment of parasites and intermediate wild hosts.

We should therefore concentrate upon this precise type of action which bears less on the environment and promises much greater efficiency. But this will not be possible until we have altogether filled the gaps in our knowledge of the ecology of parasites.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERCIERS M., 1971. Prophylaxie de la fasciolose par un molluscicide. *Cah. Méd. Vét.*, 1971, 291-302.

CAILLIER R. L., PITOIS M., 1972. Prévention de la Fasciolose ovine à l'aide du Trefennorph. *Écon. Méd. anim.*, **13**, n° 2.

CROLL N. A., 1970. *The behaviour of Nematodes*. Edward Arnold, Londres.

EUZEBY J., 1963. *Les maladies vermineuses des animaux domestiques*. I. Maladies dues aux Némathelminthes. II. Maladies dues aux Plathelminthes. Vigot, Paris.

EUZEBY J., 1968. Données modernes concernant le traitement et la prophylaxie des Helminthoses digestives des bovins. *Rev. Méd. Vét.*, 1968, n° 119, 475-516.

GEVREY J., 1969-1970. Étude du peuplement d'une prairie naturelle par les larves infestantes de Strongles parasites du tractus digestif des ovins. *Ann. Rech. Vét.*, **1**, 93-129 ; **2**, 233-252.

GUG M., RENOU Y., 1964. Importance du parasitisme. Récents progrès dans la lutte contre les parasites gastro-intestinaux. *C. R. Congr. Intern. Ritena*, sept. 1964.

MORNET P., édit. 1972. « Les maladies animales. Leur incidence sur l'économie agricole. » *Regards sur la France*, **16**, nº spécial, 363 p.

PEYRAUD J.-C., 1972. Un milliard de francs perdus par les éleveurs. *Rev. Élev.*, nº 8, 31-36.

PFIZER (Ets), 1971. *Programme de prophylaxie.* (Pfizer France, 92 - Suresnes).

RAYNAUD J.-P., 1970. Considérations théoriques et pratiques sur les Strongyloses gastro-intestinales des ruminants au pâturage. Cas particulier en France. *Rev. Méd. Vét.*, **123**, 71-98.

SPEDDING C. R. W., 1971. *Grassland ecology.* Oxford University Press, 221 p.

SPEDDING C. R. W., 1972. Systems synthesis in Agriculture. *Fourrages*, nº 51, 3-80.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, **7** (2), 161-170.

EXAMEN PRÉLIMINAIRE DE QUELQUES ASPECTS DES EFFETS MÉTABOLIQUES D'UN NOUVEL INSECTICIDE DE SYNTHÈSE CHEZ DEUX INSECTES NUISIBLES : *PIERIS BRASSICAE* L. ET *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* S. (LÉPIDOPTÈRES)

R. MOREAU, C. CASTEX et M. LAMY

Laboratoires de Physiologie générale et de Biologie animale B, 33405 Talence

RÉSUMÉ

A côté d'un effet spécifique au niveau des circuits enzymatiques participant à l'élaboration de la nouvelle cuticule, le traitement par le DU 19111 dès le début du 4e âge larvaire entraîne de profondes modifications métaboliques. Celles-ci se traduisent par une stimulation initiale des métabolismes respiratoires et énergétiques, suivie d'une profonde dépression conduisant à la mort des animaux. Le traitement insecticide semble affecter plus particulièrement le cycle des pentoses.

Depuis la découverte des propriétés insecticides du DDT en 1939 par MULLER, l'éventail des insecticides de synthèse organochlorés n'a cessé de s'élargir et de se diversifier (RAMADE, 1969). Le nouveau produit que nous venons de tester, le DU 19111 (dichloro-2,6 benzoyl)-1 (dichloro-3,4 phenyl)-3 urée (1), possède des propriétés insecticides par un mécanisme particulier qui le rend spécifique. Son action essentielle paraît se localiser au niveau du tégument en bloquant l'élaboration de la chitine, ce qui a pour effet d'induire la mort des insectes au moment de la mue (MULDER et GIJSWIJT, 1973 ; POST et VINCENT, 1973). En apparence, pendant toute la durée du traitement les chenilles de *Pieris brassicae* ou de *Thaumetopoea pityocampa* gardent une activité et un aspect normaux en comparaison avec les témoins. Ce n'est qu'au moment où elles s'immobilisent pour muer qu'apparaissent les premiers symptôme visibles. Les chenilles en mue noircissent progressivement et meurent dans leur

(1) Ce produit nous a été fourni par la Maison Philips-Duphar des Pays-Bas.

quasi totalité. A l'avant dernier âge, chez la Piéride dont le développement est rapide, la mort intervient au bout de 3 à 5 jours environ après le début du traitement, 15 à 25 jours pour la Processionnaire.

Dans ce travail préliminaire nous avons surtout cherché à déterminer l'incidence du traitement sur certains aspects de l'activité métabolique, cela *dès le moment où les animaux sont mis en présence du DU 19111*. Dans ce but, nous avons amorcé une exploration métabolique dans différentes directions. En premier lieu, nous avons étudié les modifications du métabolisme respiratoire ; en effet cela permet une première indication intéressante sur les effets du traitement. Ensuite, nous avons fait un examen de l'utilisation des différentes voies de dégradation du glucose et de l'une de leurs enzymes clés la glucose-6-phosphate-déshydrogénase (G6P-DH) afin de cerner au maximum les effets de l'insecticide sur le cycle des pentoses.

I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons utilisé deux espèces d'insectes holométaboles (de l'ordre des Lépidoptères : des chenilles de *Pieris brassicae* L. (1) et *Thaumetopoea pityocampa* S. au 4e âge larvaire (c'est-à dire situées entre la IIIe et la IVe mue). La durée de cet âge larvaire dans des conditions identiques pour les deux espèces (20°C et 70 p. 100 HR), est de 3 à 5 jours chez la Piéride et de 25 à 30 jours chez la Processionnaire du pin.

Pour chaque espèce, nous avons séparé les animaux en deux lots. Le premier reçoit une alimentation normale, le second des végétaux (feuilles de chou, aiguilles de pin) sur lesquels une solution aqueuse à 300 p.p.m. de DU 19111 a été pulvérisée.

a) Pour le métabolisme respiratoire, chaque lot d'animaux fut soumis tous les jours à une analyse des échanges gazeux respiratoires à l'aide d'un respiromètre différentiel Gilson. Cet appareil est équipé d'un nombre variable d'unités de mesures, branchées en dérivation sur une fiole de référence contenant un volume d'air égal au total des fioles utilisées. Ce respiromètre permet d'effectuer des mesures en différentiel et à pression constante.

b) L'examen de l'utilisation des voies métaboliques a été réalisé au moyen d'un ensemble radiorespiromètrique. Celui-ci fonctionne selon le principe d'un circuit ouvert, Il comporte une enceinte où sont placés les animaux en expérience, un rotamètre, une pompe incorporée à un analyseur de CO_2 à infrarouges, un compteur de radioactivité, enfin un enregistreur automatique muni d'intégrateurs ; cela permet l'enregistrement simultané du pourcentage de CO_2 dans le mélange respiratoire et de la radioactivité qu'il peut contenir à la suite de l'injection à l'animal d'une molécule marquée au ^{14}C sur les différents atomes de carbone. Nous avons donné les caractéristiques et le schéma d'ensemble du montage dans un travail antérieur. (MOREAU, 1973).

c) Pour compléter l'étude précédente, nous avons examiné l'activité de la Glucose-6-phosphate-déshydrogénase qui conditionne l'utilisation de la voie des pentoses. Pour cela les animaux sont broyés à 0°C pendant deux minutes en présence de sérum physiologique contenant $6{,}6 \cdot 10^{-4}$ M d'EDTA (2). Aprés ultracentrifugation à $15 \cdot 10^3$ tr/mn pendant 20 minutes, on recueille le surnageant à partir duquel on effectue le dosage enzymatique par la méthode de LÖHR et WALLER (in BERGMEYER, 1965).

II. — RÉSULTATS

A. — *Le métabolisme respiratoire*

Vingt quatre heures après le début du traitement les sujets de chaque espèce et de chaque lot furent soumis à un examen des échanges gazeux respiratoires.

(1) La souche de nos élevages nous a été fournie par la Station I. N. R. A. de La Minière.
(2) Acide éthylène diamine-tétracétique.

Les résultats, exprimés en µl/mg-s/heure, sont les suivants :

Pieris brassicae L.

		Témoins	*Traités*	*Pourcentages de variation*
1 jour après la III^{e} mue	O_2	7,64 ± 0,98	10,25 ± 1,30	+ 34,1
	CO_2	6,25 ± 0,83	9,31 ± 1,08	+ 48,9
	QR	0,83	0,93	+ 10,8
2 jours après la III^{e} mue	O_2	7,86 ± 0,78	5,25 ± 0,24	— 33,2
	CO_2	7,14 ± 0,81	5,01 ± 0,48	— 29,8
	QR	0,90	0,97	+ 7,7

Thaumetopoea pityocampa S.

		Témoins	*Traités*	*Pourcentages de variation*
3 jours après la III^{e} mue	O_2	2,22 ± 0,21	3,01 ± 0,17	+ 31,5
	CO_2	1,55 ± 0,18	2,32 ± 0,18	+ 49,6
	QR	0,70	0,77	+ 10,0
9 jours après la III^{e} mue	O_2	2,34 ± 0,51	2,88 ± 0,58	+ 22,3
	CO_2	1,79 ± 0,29	2,04 ± 0,76	+ 13,9
	QR	0,76	0,70	+ 7,8
25 jours après la III^{e} mue	O_2	2,01 ± 0,44	1,53 ± 0,18	— 23,8
	CO_2	1,72 ± 0,27	1,31 ± 0,14	— 28,0
	QR	0,90	0,85	— 5,5

En règle générale, le traitement au DU 19111 semble avoir une action très nette dès le début du traitement. Cela se traduit par une élévation de la consommation d'oxygène et du rejet de gaz carbonique en proportions comparables, quoique en faveur du CO_2 puisque les QR augmentent de 10 p. 100.

En fin d'interstade, les animaux traités accusent un affaiblissement sensible de leurs échanges respiratoires qui annonce la mort des animaux. Ceux-ci noircissent rapidement et meurent en totalité.

Pour les deux espèces étudiées, à la différence de rapidité près de la vitesse de développement, le même schéma d'ensemble se dégage.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux obtenus par d'autres auteurs au moyen de l'insecticide très classique qu'est le DDT. HARVEY et BROWN (1951) ont montré que le DDT injecté à différents insectes provoque une accélération immédiate de la consommation d'oxygène, parfois supérieure à 70 p. 100 ; puis ce phénomène est très vite suivi d'une dépression qui conduit rapidement (quelques heures) les animaux à la mort. Le DU 19111 semble donc voir des effets un peu analogues, quoique moins brutaux et beaucoup plus modulés et agit, comme nous allons le montrer, plus spécifiquement sur certains circuits métaboliques.

B. — *Exploration des voies métaboliques au moyen de molécules marquées*

Pour l'étude des voies métaboliques, nous disposons d'un ensemble radio-respirométrique à circuit ouvert. Il permet, après l'injection d'un substrat marqué au ^{14}C, la mesure du pourcentage de CO_2 dans l'air expiré par unité de temps, et la mesure de la radioactivité du $^{14}CO_2$ du mélange respiratoire. Cela permet l'établissement de courbes d'activités spécifiques (fig. 1, 2, 3 et 4).

L'injection de substrats marqués sur différents atomes de carbone est très intéressante, car selon la voie de dégradation empruntée, le rejet de $^{14}CO_2$ qui en résulte est plus ou moins rapide. Ainsi, dans le cas où la glycolyse et le cycle de Krebs sont seuls actifs, les rejets du C_1 et du C_6 du glucose se font simultanément avec une amplitude comparable. Dans le cas où, au contraire, l'utilisation du cycle des pentoses domine nettement, c'est le C_1 du glucose qui sort le premier et massivement. Le rejet du C_6 se fait alors plus tardivement.

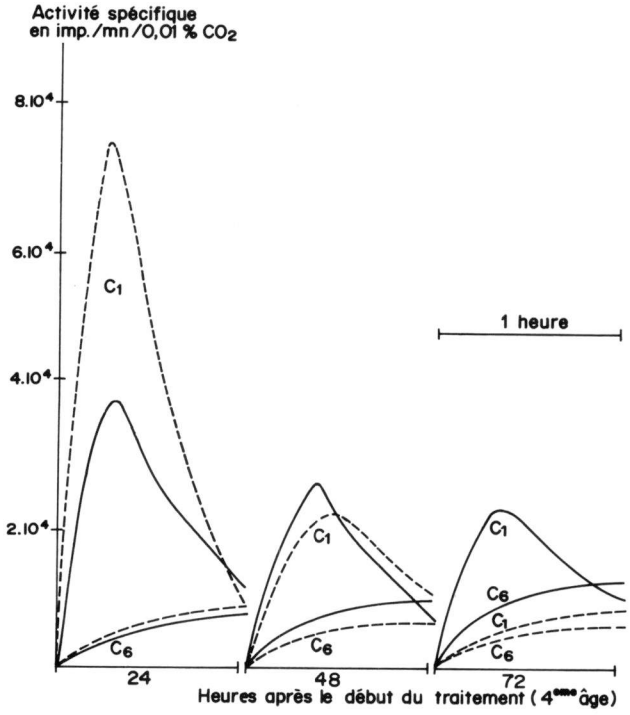


FIG. 1. — *Activités spécifiques comparées au cours du 4e âge larvaire du $^{14}CO_2$ respiratoire chez* Pieris brassicae *L.*
Témoins (———) et traités au DU 19111 (— — —) après injection de glucose-1-^{14}C et 6-^{14}C

Dans les deux espèces étudiées, sans conteste, l'utilisation de la voie des pentoses existe nettement chez les sujets témoins. Dès le début du traitement avec le DU 19111, l'activité de la voie des pentoses s'exagère nettement surtout chez la Piéride où le cycle de développement est court (fig. 1 et 2).

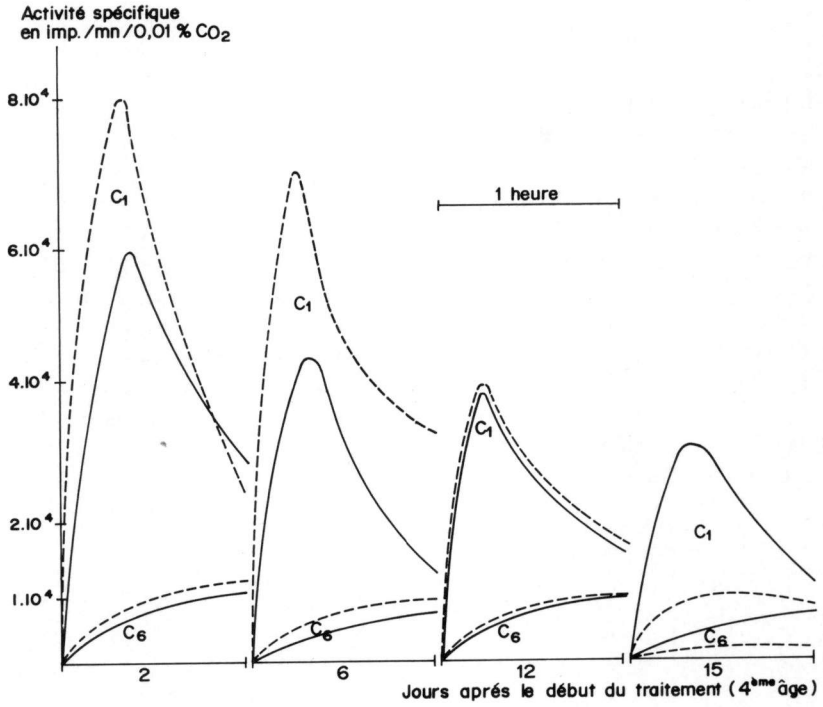


FIG. 2. — *Activités spécifiques comparées au cours du 4e âge larvaire du $^{14}CO_2$ respiratoire chez* Thaumetopea pityocampa *S.*

Témoins (———) et traités au DU 19111 (— — —) après injection de glucose-1-^{14}C. et 6-^{14}C

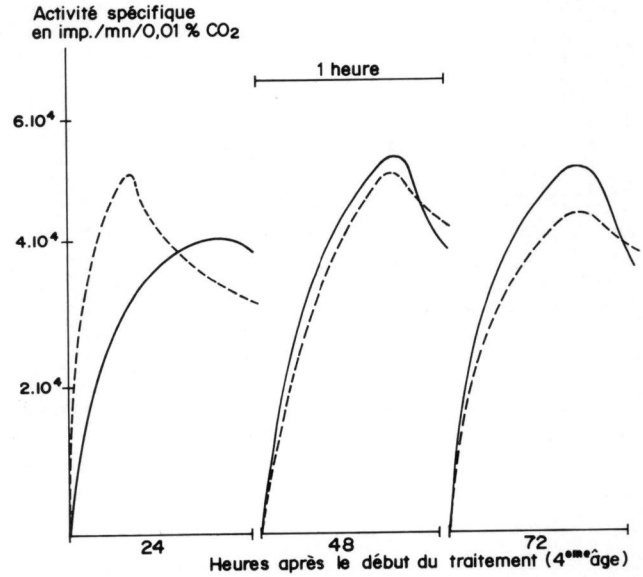


FIG. 3. — *Activités spécifiques comparées au cours du 4e âge larvaire du $^{14}CO_2$ respiratoire chez* Pieris brassicae *L.*

Témoins (— · ——) et traités au DU 19111 (— — —) après injection d'acétate 1-^{14}C

En fin de traitement, on assiste alors à un affaissement de l'utilisation de la voie des pentoses, conduisant progressivement à la mort des animaux.

Cette réaction est tout à fait comparable à celle produite par le DDT, chez *Triatoma infestans* (AGOSIN *et al.*, 1966). L'action du DDT est cependant plus brutale que celle du DU 19111. ELA, CHEFURKA et ROBINSON (1970) notent chez *Periplaneta americana*, après injection de DDT, une augmentation de l'activité du cycle des pentoses de plus de 70 p. 100. Cependant, les circuits métaboliques correspondant au cycle de Krebs sont eux aussi considérablement modifiés. Dans le cas du DU 19111, au contraire, l'action paraît surtout importante sur le cycle des pentoses. En effet, l'injection d'acétate marqué sur le premier carbone donne un rejet de CO_2 radioactif important et en quantité comparable chez les animaux témoins et traités. Seule la vitesse de dégradation de l'acétate semble nettement accélérée, surtout en début de traitement, moment où par ailleurs, la consommation d'oxygène est elle aussi nettement stimulée (fig. 3 et 4).

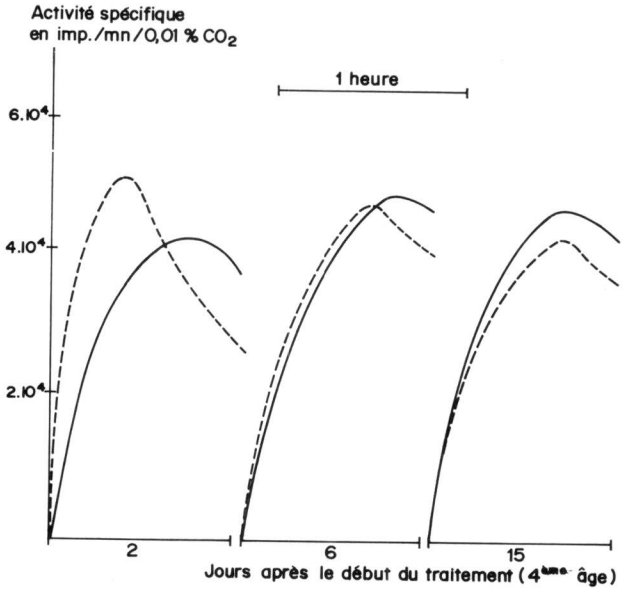


FIG. 4. — *Activités spécifiques comparées au cours du 4e âge larvaire du $^{14}CO_2$ respiratoire chez* Thaumetopoea pityocampa *S.*
Témoins (———) et traités au DU 19111 (— — —)
après injection d'acétate 1-^{14}C

Ensuite, la vitesse de dégradation de l'acétate devient sensiblement comparable pour les animaux des deux lots. Le traitement au DU 19111 semble donc agir beaucoup moins profondément sur l'activité du cycle de Krebs que sur celui des pentoses.

C. — *Étude cinétique d'une enzyme clé de la voie des pentoses* (G6P-DH)

Les résultats, exprimés en unité d'activité enzymatique par gramme d'animal, sont portés dans les tableaux suivants :

Pieris brassicae :

Nombre de jours après la III^e mue	1	2	3
Témoins	294,6	354,0	171,0
Traités	474,0	288,6	50,0

Thaumetopoea pityocampa :

Nombre de jours après la III^e mue	2	7	12	15
Témoins	64,5	138,0	162,5	93,5
Traités		128,5	90,5	38,5

Ces résultats semblent confirmer l'étude précédente des voies métaboliques. Le traitement stimule, au début l'activité de la G6P-DH et en fin de stade on assiste à un affaissement progressif très accentué par le DU 19111.

III. — DISCUSSION

L'examen précoce des effets du traitement par le DU 19111 montre d'une manière nette que ce nouvel insecticide semble agir très tôt sur l'ensemble des circuits métaboliques.

La première preuve en est fournie par l'augmentation très rapide de la consommation d'oxygène (+ 31,5 p. 100 après 24 heures de traitement chez la Piéride et + 34,1 p. 100 chez la Processionnaire après 6 jours du même traitement). L'action initiale semble donc se traduire par une accélération globale de l'ensemble des activités métaboliques. De plus, chez les animaux traités, on peut également noter une assez nette augmentation des QR. Cela laisse supposer une certaine modification dans l'utilisation relative des différents circuits de dégradation du glucose, ce que prouve notre étude sur l'utilisation des voies métaboliques. En effet, le cycle des pentoses semble très affecté par le traitement. Chez la Piéride dont le cycle de développement est très bref, le rejet de CO_2 radioactif provenant du C_1 du glucose marqué double alors que le C_6 n'augmente guère. De plus, le rejet de CO_2 radioactif provenant d'une injection d'acétate marqué demeure comparable dans les deux cas bien que la vitesse de dégradation soit stimulée.

Faisant suite à cette stimulation du métabolisme imputable au traitement par le DU 19111, on observe une dépression qui ne cesse de s'accentuer jusqu'à la mort des animaux. L'étude de l'activité de la G6P-DH semble d'ailleurs confirmer l'ensemble de ce schéma général, alors que les circuits métaboliques correspondant au cycle de Krebs sont beaucoup moins profondément altérés.

De nombreux travaux ont montré que chez les insectes dont le cycle de développement est relativement court, l'utilisation du cycle des pentoses prend une importance considérable (Agosin *et al.*, 1966 ; Chefurka, 1965 ; Dixon et Shuel, 1969 ; Ela *et al.*, 1970 ; Chefurka *et al.*, 1970 ; Lerer et Dixon, 1973) par la production de NADP réduit. Cela permet de subvenir à l'élaboration rapide des tissus

nouveaux pour chaque stade du développement. Or, la mort des animaux traités au DU 19111 intervient justement au moment de la mue, occasionnée semble-t-il par l'impossibilité où sont les animaux de produire une nouvelle cuticule. POST et VINCENT, 1973 ; POST *et al.*, 1974, viennent de montrer que les chenilles de *Pieris brassicae* traitées par ce même insecticide, puis recevant une injection de glucose marqué, ne présentent aucune incorporation à la cuticule. Ce résultat, selon ces auteurs, semble indiquer que le DU 19111 inhibe la synthèse de chitine. Notre travail confirme ce point de vue en le précisant davantage. Ainsi, selon nous, l'inhibition de la synthèse des éléments constitutifs de la cuticule ne serait que la conséquence d'une modification allant dans le sens d'un bloquage des chaînes de synthèse métaboliques. Le DU 19111 agirait plus spécifiquement sur la voie des pentoses. On peut comprendre ainsi que les animaux survivent jusqu'à la fin de l'interstade larvaire sans pour autant pouvoir le franchir.

Les insecticides habituellement testés, semblent agir sur l'ensemble des voies métaboliques en induisant une mort à très court terme. Le DU 19111 présenterait une action plus spécifique au niveau des chaînes de synthèse de la cuticule des arthropodes, notamment en les privant de NADP réduit provenant de la voie des pentoses. Cette action relativement spécifique confèrerait à ce nouvel insecticide toute son importance et son originalité ; nous nous proposons de le démontrer par un examen comparatif des effets métaboliques avec d'autres pesticides plus classiques.

Reçu pour publication en octobre 1974.

SUMMARY

FIRST OBSERVATION OF THE METABOLIC EFFECTS
OF A NEW INSECTICIDE AMONG TWO MISCHIEVOUS INSECTS
PIERIS BRASSICAE L. AND *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* S. (LEPIDOPTERA)

Besides a specific effect on enzymatic circuits which play a part in the elaboration of the new cuticle, the DU 19111 treatment applied as soon as the beginning of the fourth larval instar causes marked metabolic modifications. The latter are shown by a stimulation of the metabolisms followed by an important depression leading to the death of the animals. The insecticide treatment seems to affect more particularly the pentosis cycle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGOSIN M., SCAMAMELLI N., DINAMARCA I., ARAVENA L., 1966. Intermediary carbohydrate metabolism in *Triatoma infestans* (insect hemiptera). II. The métabolism of ^{14}C glucose in *Triatoma infestans* nymphs and the effect of the DDT. *Comp. Bioch. Physiol.*, **8**, 311-320.

BERGMEYER H. V., 1965. *Methods of enzymatic analysis*. 744-751. Academic press New York and London.

CHEFURKA W., M. ROCKSTEIN, 1965. Intermediary metabolism of carbohydrates in insects. In *Physiology of insecta*. Vol. 2, 581-660, Academic Press, New York, Londres.

CHEFURKA W., HORIE Y., ROBINSON J. R. 1970., Contribution of the pentose cycle to glucose metabolism by insects. *Comp. Biochem. Physiol.* **37**, 143-165.

DIXON S. E., SUHEL R. W., 1969. Respiration of queen and worker honey-bee larvae on differentially labelled glucose ^{14}C. *Comp. Biochem. Physiol.*, **39**, 105-140.

ELA R., CHEFURKA W., ROBINSON J. R., 1970. *In vivo* glucose metabolism in normal and poisonned cockroach *Periplaneta americana*. *J. Insect. Physiol.*, **16**, 2137-56.

HARWEY G. T., BROWN A. W. A., 1951. The effect of insecticides on the rate of oxygen consumption in *Blatella*. *Can. J. Zool.*, **29**, 42-53.

LERER H., DIXON S. E., 1973. Female dimorphism in honey-bee larvae with respect to glucose metabolism. *J. Insect. Physiol.*, **19**, 1363-1367.

MOREAU R., 1973. Thèse Doct. Sci. Nat. Bordeaux.

MULLER R., GIJSWIJT M. J., 1973. The laboratory evolution of two promising new insecticides wich interfere with cuticule deposition. *Pest. Sci.*, nº 4, 737-745.

POST L. C., VINCENT W. R., 1973. A new insecticide inhibits chitin synthesis. *Naturwissenchaften*, **60**, 431-432.

POST L. C., de JONG B. J., VINCENT W. R., 1974. -1-(2.6-di sustituted benzoyl) -3-phenylurea insecticides : inhibitors of chitin synthesis. *Pesticides biochemistry and physiology* (sous presse).

RAMADE F., 1969. Documents d'entomologie appliquée. II. Lutte chimique. *Les insecticides*. I. N. A.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 171-184.

HUMIDITÉ ET DESSÈCHEMENT EN MILIEU SOUS-CORTICAL : CONSÉQUENCES POUR LA FAUNE ASSOCIÉE

F. LIEUTIER

Laboratoire de Zoologie, Biologie animale et Écologie, I. N. A.,
Rue Claude Bernard,
75005 Paris

RÉSUMÉ

L'étude au laboratoire du dessèchement en 15 semaines du milieu sous-cortical (Liber et Aubier) de rondins de pin sylvestre montre que, si de l'eau est perdue au niveau de la section, cette perte devient nulle au bout de quelque temps (4 semaines dans le cas présent). La perte la plus importante a lieu directement à travers l'écorce. Le liber contient plus d'eau que l'aubier mais celui-ci a un niveau de saturation toujours plus élevé. Le liber est saturé par une teneur en eau de 370 p. 100 par rapport au poids sec, l'aubier pour 105 p. 100. Des conséquences pour la faune sous-corticale ont été mises en évidence : la sécheresse diminue le nombre des attaques d'*Ips sexdentatus*, ainsi que le nombre et la longueur des galeries maternelles ; elle entraîne une diminution de l'importance numérique de la génération fille. Elle a aussi une influence négative sur la taille des descendants, appréciée par la largeur du pronotum et la longueur du bord antérieur du pronotum à l'extrémité des élytres.

Les mesures microclimatiques en milieu sous-cortical ont toujours été très délicates. Les insectes vivant entre liber et aubier, comme les Scolytidae, creusent des galeries souvent très étroites qui ne permettent pas d'y introduire d'appareils de mesure des paramètres physiques de l'atmosphère si ce n'est sous forme de petites sondes. De plus, la dureté de l'écorce et du bois suppose que ces sondes soient assez solides et résistent aux pressions résultant du travail des fibres sous l'effet des facteurs climatiques.

Pour les mesures de température, il existe à l'heure actuelle des microsondes (d'un diamètre de 3 mm environ) assez précises pouvant être glissées dans les galeries des insectes et de tels enregistrements sont d'ailleurs devenus classiques. Par contre, il n'existe aucun appareil capable de mesurer le degré hygométrique de l'air de ce milieu, et encore moins d'en réaliser un enregistrement continu. C'est probablement ce qui explique le nombre réduit de données relatives à ce facteur. Dans le cas de l'étude des Scolytidae, celles-ci ne portent en outre que rarement sur un intervalle

de temps très long. La seule méthode actuellement employée consiste à déterminer la teneur en eau du bois au voisinage des galeries et à en déduire, par des abaques, l'humidité de l'air.

SAVELY (1939) sur le pin et le chêne, cite 26 p. 100 et 53 p. 100 de teneur en eau du bois pour des troncs au soleil. IABLOKOFF (1947) précise qu'un bois séché à l'air contient rarement moins de 15 à 20 p. 100 d'eau par rapport au poids sec. CHARARAS (1958) a montré le rôle du degré hygrométrique de l'écorce dans l'attraction de *Pityokteines curvidens* et du taux d'humidité du bois sur la localisation d'*Ips sexdentatus* (1962). DAJOZ (1966) a pu mesurer directement l'humidité de l'air dans le milieu sous-cortical grâce à une thermistance entourée d'une gaze humidifiée, confectionnée par lui. GAUMER et GARA (1967) ont trouvé que les conditions d'élevage de *Dentroctonus frontalis* étaient optimum à 20°-22°C et à 50-60 p. 100 d'humidité relative de l'air. HODGES et PICKARD (1971) utilisent, entre autres critères, la « turgescence » relative du bois (= Relative Water Content = RWC. WEATHERLEY, 1950) comme indicateur d'humidité dans les arbres abattus, pour suivre l'attaque des Scolytidae sur *Pinus taeda* L.

Mais la plupart des études concernant l'action de l'humidité sur les xylophages sont relatives à l'humidité atmosphérique de l'air ambiant et non à celle de l'air des galeries ni à la teneur en eau du bois.

Nous nous sommes proposés, dans cette étude, de suivre en laboratoire le dessèchement d'un milieu sous-cortical du pin sylvestre et d'examiner quelles peuvent en être les conséquences sur les populations d'*Ips sexdentatus* (Coléoptère Scolytidae).

Ips sexdentatus, le plus grand scolytide français (6 à 7 mm) se développe sur les conifères en déficience physiologique, de préférence du genre *Pinus*. Cependant, en cas de surpopulation, il peut aussi attaquer des arbres en pleine sève. L'insecte est polygame, le mâle pénètre le premier dans l'écorce, creuse la chambre d'accouplement et féconde les femelles au fur et à mesure de leur arrivée. Aussitôt après, ces dernières creusent des galeries longitudinales dans la veine libérienne le long desquelles elles déposent leurs œufs dans de petites encoches de ponte. Dès l'éclosion les larves se nourrissent en forant des galeries perpendiculaires à la galerie maternelle ; le diamètre de celles-ci croît depuis l'encoche de ponte jusqu'à une logette terminale nymphale où s'effectue la nymphose. Le jeune adulte, non encore pigmenté, se nourrit d'abord sur place en détruisant plus ou moins le système de galeries formé par les femelles parentales et les larves. Après cette période de « nutrition de maturation » l'adulte mélanisé (brun foncé ou noir) et sexuellement mûr essaime vers un autre sujet. En France le nombre moyen de générations par an est de deux, mais il varie quelque peu avec les conditions climatiques locales.

Les méfaits causés par *Ips sexdentatus* sont importants car ils aboutissent à la mort de l'arbre ; des dégâts considérables ont été enregistrés dans les Landes en 1947 et 1948, en Turquie depuis 1947 (CHARARAS, 1967 ; PESSON et CHARARAS 1969), etc...

I. — PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Nous nous proposons de comparer les facilités de développement du scolytide *Ips sexdentatus* dans des milieux d'élevage constitués par des échantillons de bois diversement desséchés. On mesurera donc de façon précise d'une part la teneur en eau de ces échantillons, et d'autre part

les principales caractéristiques des insectes obtenus après développement larvaire selon les échantillons.

Dix-neuf rondins de 50 cm de long et de 8 à 11 cm de diamètre provenant de jeunes pins sylvestres fraîchement abattus en forêt de Fontainebleau ont été ramenés au laboratoire, 4 d'entre eux étant destinés à l'élevage des insectes, les 15 autres à l'étude simultanée du dessèchement.

Le 1er jour, des mesures de teneur en eau du bois furent effectuées sur l'un de ces 15 derniers échantillons ; parmi les autres, 7 furent étanchéisés à leurs sections, par enrobage local avec un ciment-lut, tandis que les 7 autres furent conservés intacts à titre de témoin. De même parmi les 4 rondins destinés aux élevages, 2 seulement furent lutés à leurs sections. Cette opération a pour but d'éliminer les pertes d'eau par les extrémités (GAUMER et GARA, 1967 ; PARKER et DAVIS, 1971).

Des mesures de la teneur en eau du bois furent effectuées après une semaine et demie sur un rondin aux sections lutées et sur un rondin non luté, puis renouvelées tous les 10 jours (1,5 semaine) à l'exception des dernières mesures exécutées après un plus grand délai.

Les rondins destinés aux élevages furent installés dans deux cages entièrement grillagées, 1 paire (1 luté + 1 non luté) dans chaque, et disposés de façon à éviter toute irrégularité des conditions locales d'éclairement ou d'aération. Trois semaines après cette mise en condition, ces échantillons de bois furent soumis à des attaques expérimentales par des *Ips sexdentatus* prélevés au moment de l'essaimage : 10 couples prélevés au hasard dans des lots d'insectes de taille et poids comparables, furent introduits dans chaque cage, à mi-distance de chaque rondin.

Laissant les couples installés se reproduire et leur descendance larvaire se développer, ce n'est qu'après un délai de 12 semaines (15 depuis le début de l'expérience) que les échantillons de bois furent examinés. A ce moment, la génération fille était parvenue à la fin de la période de nutrition des adultes, les 4 rondins furent écorcés et toutes les caractéristiques relatives à la taille et au poids des insectes furent notées pour les 2 catégories de rondins.

Durant toute l'expérience, la température moyenne ambiante d'élevage était comprise entre 19° et 26°C (moyenne 21,5°C) et l'humidité moyenne ambiante entre 25 et 50 p. 100 (moyenne 38,5 p. 100), avec des variations quotidiennes selon les conditions extérieures.

II. — TECHNIQUES UTILISÉES

A. — *Mesures de l'humidité du bois*

La teneur en eau du bois a été obtenue par pesée, avant et après séchage à l'étuve, de morceaux de bois prélevés sur les divers rondins en expérience. Chaque prélèvement comportait un morceau de liber et un morceau d'aubier, de 50 à 100 mg, immédiatement placés dans un flacon, hermétiquement fermé et de tare connue (T) ; par pesée nous obtenions le poids frais (PF). Les dits échantillons étaient ensuite mis à saturation dans de l'eau distillée pendant 1 heure, comme indiqué par HODGES et PICKARD (1971) ; nous obtenions alors le poids à saturation (P sat.). Enfin, après dessication à l'étuve, une nouvelle pesée donnait le poids sec (PS) de chaque fragment-échantillon.

Les différentes valeurs caractéristiques de l'humidité du bois (1) sont données par les formules suivantes :

— Teneur en eau du bois frais, en pourcentage par rapport au poids sec :

$$\frac{PF - PS}{PS} \times 100 = HF$$

— Teneur en eau du bois à saturation en pourcentage par rapport au poids sec :

$$\frac{P\ sat. - PS}{PS} \times 100 = H\ sat.$$

(1) Nous avons choisi de rapporter les mesures par rapport au poids sec, d'autant plus qu'il s'agit d'arbres débités en rondins ; le rapport au poids frais se faisant plutôt habituellement lors de l'étude de la physiologie des arbres.

— Pourcentage de saturation du bois :

$$\frac{HF}{H\ sat.} \times 100 = S$$

Déficit de saturation du bois en pourcentage : 100 — S = D.

Nous ne nous sommes intéressé dans cette étude qu'à la teneur en eau du bois et non à l'humidité de l'air des galeries sous-corticales, cela s'avérant plus pratique dans le cas d'études comparatives. Cependant nous donnons, à titre indicatif, les valeurs de cette humidité relative de l'air des galeries, d'après divers auteurs (VILLIÈRE, 1953).

— A 22°C, pour HF = 32 p. 100, l'humidité de l'air des galeries (H ag.) serait de 100 p. 100.

pour HF = 26 p. 100 H.a.g. serait de 95 p. 100
pour HF = 11 p. 100 H.g.a. serait de 60 p. 100

Il existe en effet un constant état d'équilibre entre la teneur en eau du bois et celle de l'air des galeries creusées par les insectes ; le bois joue le rôle d'un volant hydrique, cédant de l'eau à l'air des galeries en période sèche, captant l'humidité des galeries en période humide (IABLOKOFF, 1947 ; VILLIÈRE, 1953). On comprend dès lors que la connaissance des variations de la teneur en eau du bois fournisse certains renseignements sur les variations de l'humidité de l'air des galeries des insectes xylophages.

Le dessèchement à l'étuve a été fixé à une durée constante de 4 heures à 105°C. Cette température a été choisie de façon à éviter la calcination du bois, la durée d'assèchement correspond à une valeur limite et constante de la perte en eau, comme le montre l'expérience rapportée ci-dessous.

Soixante-deux échantillons de liber prélevés dans la même zone d'un rondin ont été menés à saturation d'eau selon la méthode précédemment décrite, puis pesés et mis en étuve à 105°C. Toutes les 30 minutes, 5 échantillons étaient retirés et leur perte en eau en pourcentage par rapport au poids sec a été déterminée. Les résultats sont reproduits sur la figure 1.

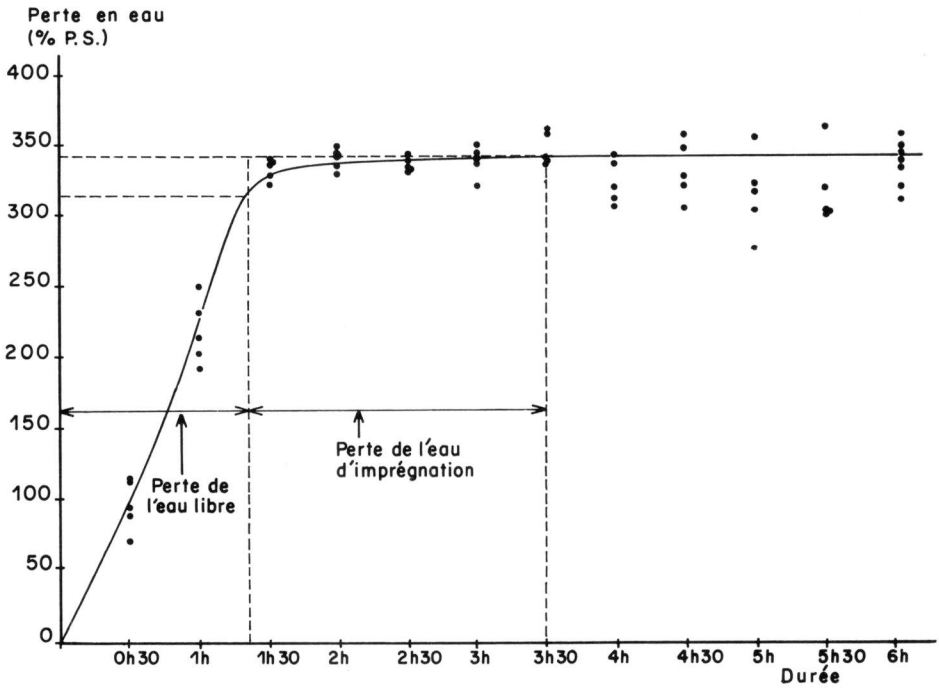


FIG. 1. — *Perte en eau par rapport au poids sec en fonction de la durée de dessèchement à l'étuve*

Un plateau, représentant la teneur en eau du bois à saturation (H sat.), est atteint au bout de 3 h 30

B. — *Évaluation de l'importance des dégâts par les Scolytides, du nombre et de la biomasse des insectes, ceux-ci s'étant multipliés en biotopes expérimentaux*

A l'écorçage, 12 semaines après l'installation des insectes (15 depuis le début de l'expérience), le nombre d'attaques des parents, le nombre de galeries maternelles et leur longueur, ainsi que le nombre de descendants, leur taille, leur poids et leur sexe ont été notés. La taille des insectes a été mesurée en prenant la plus grande largeur du pronotum (l) et la longueur du bord antérieur du pronotum à l'extrémité postérieure des élytres (L.).

III. — RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

1. — *Le dessèchement du milieu sous-cortical*

Remarquons sur la figure 1 que la teneur en eau par rapport au poids sec est obtenue en 2 phases. Au cours de la première, l'évaporation de l'eau est très rapide (315 p. 100 en 1 h 30) et correspond sans doute à ce que VILLIÈRE (1953) appelle l' « eau libre » (celle qui circule par capillarité). La deuxième phase est beaucoup plus lente (30 p. 100 en plus de 2 h) et correspondrait à la perte de l' « eau d'imprégnation » (circulant par diffusion), retenue beaucoup plus efficacement (VILLIÈRE, 1953).

Un plateau est atteint qui représente la teneur en eau du bois à saturation par rapport au poids sec (ici 345 p. 100) ; le temps nécessaire pour l'obtenir est d'environ 3 h 30, d'où le choix d'une durée de desséchement standard de 4 h.

Pour chaque rondin soumis aux mesures, il a été fait 4 prélèvements de liber et 4 prélèvements d'aubier à 5 cm de chaque extrémité, 4 de liber et 4 d'aubier au milieu, et 4 de liber et 4 d'aubier à 15 cm de chaque extrémité (zone intermédiaire), les prélèvements se répartissant sur toutes les faces du rondin. Cela représente donc à chaque fois :

Zone de prélèvements sur les rondins	Nombre d'échantillons ou de mesures	
	liber	aubier
Milieu (A)	4	4
Intermédiaire (B)	8	8
Extrémité (C)	8	8

Les résultats établis plus loin sont les moyennes de chaque groupe de 8 ou 4 échantillons. La figure 2 représente la localisation des prélèvements pour une zone déterminée.

Remarque : Les mesures de la paire de rondins n° 1 relative à 1,5 semaine ont toutes été perdues par suite d'erreurs de pesées avant desséchement ; certaines mesures ont aussi dues être éliminées à cause du développement de moisissures.

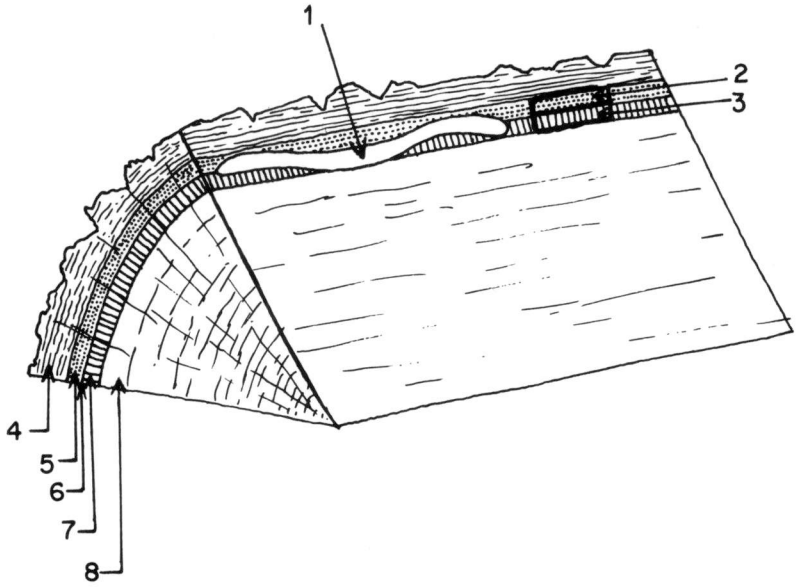


FIG. 2. — *Emplacement des prélèvements pour un niveau déterminé*

La localisation des galeries en cas d'installation d'*Ips sexdentatus* a également été représentée

1 : localisation des galeries des Scolytides dans les arbres attaqués
2 : prélèvements du liber
3 : prélèvements d'aubier
4 : rhytidome } « écorce »
5 : liber }
6 : assise libéro-ligneuse
7 : aubier (bois vivant) } « bois »
8 : bois mort }

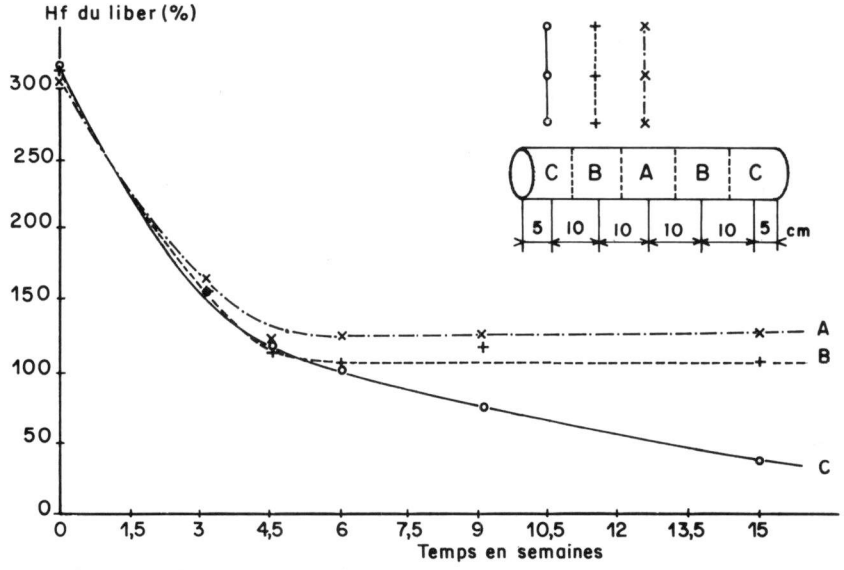


FIG. 3. — *Dessèchement du liber en fonction du temps à différents niveaux, pour des rondins non lutés*

Les extrémités se dessèchent le plus rapidement

La figure 3 nous montre l'évolution de l'assèchement du liber aux divers niveaux (A, B, C) des rondins dont les surfaces de section sont restées nues. On remarque que jusqu'à 4,5 semaines l'assèchement est à peu près le même à tous les niveaux, mais qu'au-delà de cette période, l'humidité de la zone médiane (A) et dans une moindre mesure des zones intermédiaires (B) reste relativement constante ou diminue légèrement, tandis que les extrémités (C) continuent à perdre rapidement de l'eau. La figure 4, relative à la série de rondins dont les extrémités étaient lutées, nous montre que l'assèchement du liber est le même pour tous les niveaux (A, B, C) à tout moment de l'expérience. La teneur en eau des échantillons diminue très lentement après la 6e semaine, et est nettement plus élevée que celle observée dans la partie médiane des rondins dont les extrémités ne sont pas étanchéisées. Nous pouvons en déduire qu'une évaporation plus forte se manifeste au niveau des sections, évaporation qui a pour effet de draîner l'eau des parties plus ou moins éloignées de l'échantillon (zones B et A). L'évaporation par la surface de l'écorce n'est pas négligeable, elle est de même importance aux divers niveaux. L'écorce confère cependant au bois une capacité de rétention en eau plus élevée. Nous avons également observé les mêmes tendances en ce qui concerne l'aubier, mais de façon moins marquée.

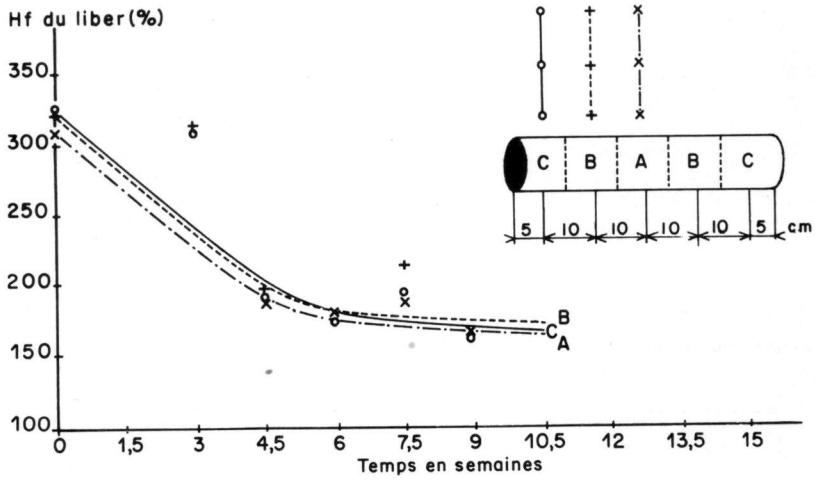


FIG. 4. — *Dessèchement du liber en fonction du temps à différents niveaux, pour des rondins aux sections étanchéisées avec du ciment-lut*
Le dessèchement est le même à tous les niveaux

Il peut être intéressant de déterminer la part respective dans le dessèchement de la perte par les sections et par la surface de l'écorce, c'est ce que montrent les résultats rapportés sur les figures 5 et 6 représentant pour un niveau donné (les extrémités), la perte d'eau cumulée en fonction du temps pour le liber (fig. 5) et pour l'aubier (fig. 6). La perte en eau totale est donnée par la série de rondins aux sections non étanchéisées, la perte en eau par l'écorce est fournie par la série de rondins aux sections imperméabilisées par du ciment-lut. La perte en eau par les extrémités s'obtient par différence.

La figure 5 montre que pour le liber, la perte par les extrémités croît d'abord et est à peu près égale à l'évaporation à travers l'écorce. Après un délai de 4 semaines,

cette perte par les extrémités devient nulle puisque la perte cumulée est constante (cf. surface hachurée entre les 2 courbes fig. 5), tandis que la perte cumulée par l'écorce continue à augmenter en tendant vers une asymptote (fig. 4).

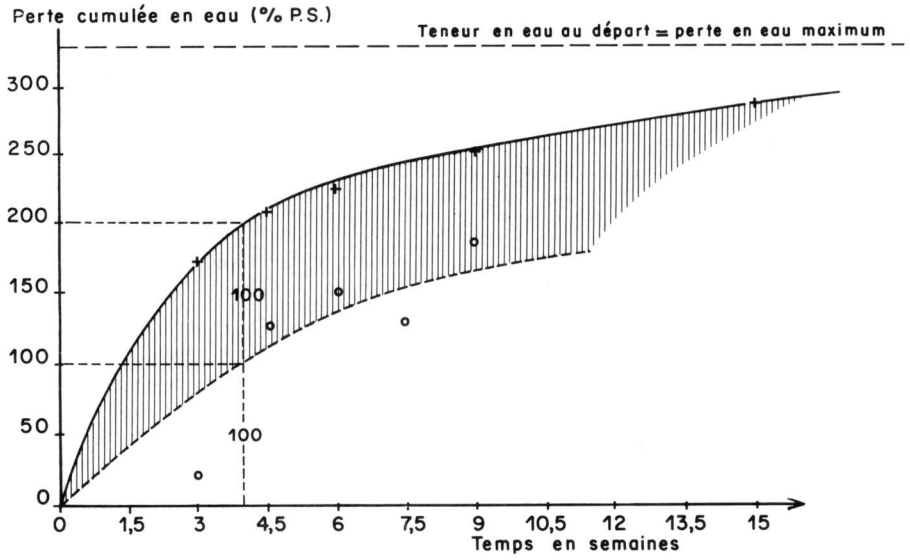


FIG. 5. — *Perte cumulée en eau du liber en fonction du temps, pour la zone des extrémités*
La perte en eau à travers l'écorce est de beaucoup la plus importante, tandis que la perte par les extrémités devient rapidement nulle (perte cumulée constante)

+———+ Perte cumulée totale
o———o Perte cumulée par l'écorce
|||||||| Perte cumulée par les extrémités

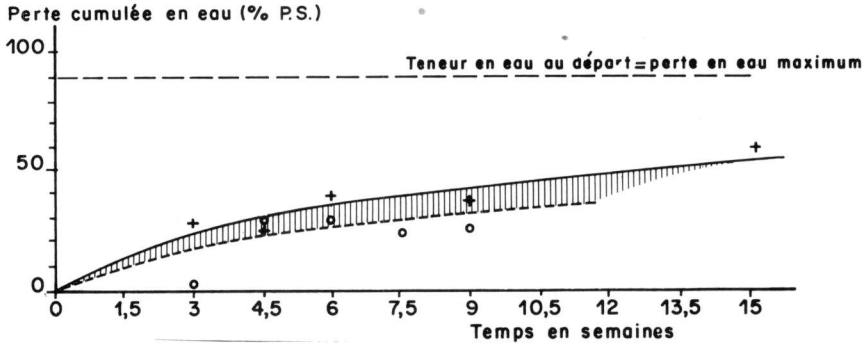


FIG. 6. — *Perte cumulée en eau de l'aubier en fonction du temps, pour la zone des extrémités*
Mêmes conclusions que pour le liber, mais valeurs absolues plus faibles

En valeur absolue, la perte d'eau par les sections est donc moins importante que celle à travers toute la surface de l'écorce. Par exemple : à la 9e semaine la perte cumulée en eau du liber (exprimée en pourcentage par rapport au poids sec du liber) atteint à travers l'écorce 150 p. 100 contre 100 p. 100 par les extrémités. Cela pour

un rondin de taille réduite (50 cm) et pour des mesures faites à 5 cm de l'extrémité ; par conséquent, la part des pertes corticales dans la perte totale serait encore plus considérable pour un rondin plus long et pour une zone éloignée de l'extrémité. Dans le cas présent c'est ainsi que le pourcentage cumulé d'eau perdue par le liber atteint à la 9e semaine pour la zone intermédiaire 150 p. 100 à travers l'écorce et 65 p. 100 par les sections, et pour la zone médiane respectivement 150 p. 100 et 35 p. 100.

Il convient de faire une remarque à propos de la perte par les extrémités : l'eau circulant dans le bois, des zones les plus humides vers les zones les plus sèches, perpendiculairement aux surfaces d'égale humidité (VILLIÈRE, 1953), l'évaporation de l'eau du liber aux extrémités n'aura pas lieu uniquement sur la surface de liber apparaissant au niveau des sections, mais sur toute la section du rondin. A l'intérieur de celui-ci, l'eau quittera en effet le liber pour s'enfoncer dans le bois de cœur plus sec et se déplacera vers l'extrémité du rondin où l'évaporation se fera alors sur toute la surface de la section.

L'examen de la figure 6 relative à l'aubier aboutit aux mêmes conclusions, mais avec des valeurs absolues beaucoup plus faibles. L'aubier contient donc moins d'eau que le liber, cependant l'aubier est saturé à H sat. = 105 p. 100 tandis que le liber l'est à H sat. = 350 p. 100 : pour les comparer il est donc nécessaire de raisonner en pourcentage de saturation ou en déficit de saturation. La figure 7 compare précisément le déficit de saturation D de l'aubier et du liber en fonction du temps dans les 2 séries de rondins pour la zone de l'extrémité.

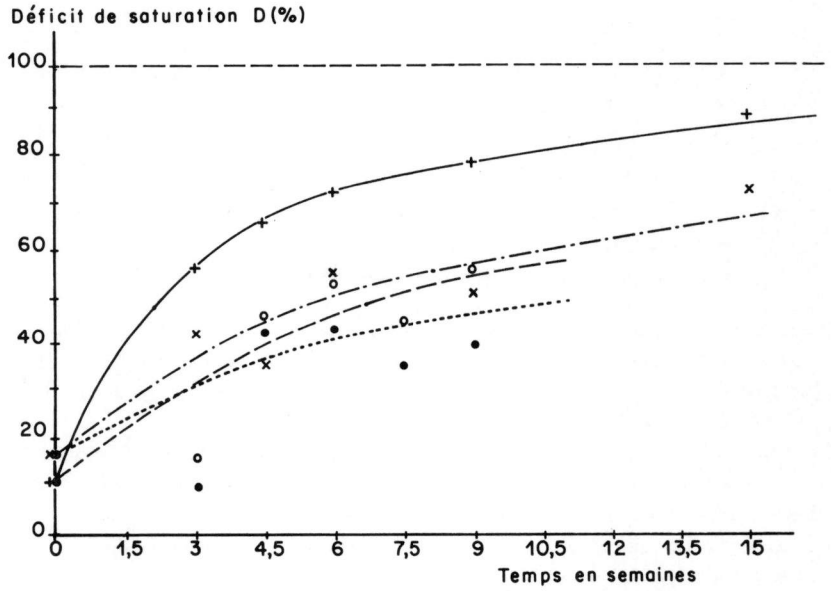


FIG. 7. — *Déficit de saturation D de l'aubier et du liber en fonction du temps, dans 2 séries de rondins aux extrémités lutées et non lutées*

L'aubier se dessèche beaucoup moins vite que le liber qui tend rapidement vers un déficit de saturation maximum

+———+ liber des rondins non lutés
×—·—·—× aubier des rondins non lutés
○———○ liber des rondins lutés
●----------● aubier des rondins lutés

Nous y observons que l'aubier se dessèche beaucoup moins vite que le liber qui tend rapidement vers un déficit de saturation maximum, ce qui s'explique puisque le liber est le plus superficiel et que le maximum de perte d'eau s'effectue à travers l'écorce. L'aubier a donc un pourcentage de saturation S toujours plus élevé que celui du liber.

2. — *Influence du dessèchement sur* Ips sexdentatus

C'est par des résultats d'infestations expérimentales de rondins avec ciment-lut et sans ciment-lut que nous allons étudier cette influence.

Dans une expérience comparable, menée à 60-70 p. 100 d'humidité relative de l'air, GAUMER et GARA (1967) avaient aboutit à la conclusion que *Dendroctonus frontalis* périssait par excès d'humidité sur des rondins de *Pinus taeda* lutés et se développaient normalement sur des rondins non lutés.

a) *L'attaque et l'installation de la génération parentale.*

Rappelons que la mise en condition d'attaque par les Scolytides n'intervient qu'après un conditionnement de 3 semaines des rondins. A cette époque la teneur en eau des échantillons est sensiblement différente (fig. 3 et 4). On examine alors, 12 semaines après l'infestation expérimentale les populations de Scolytides présents sur chaque échantillon, le nombre d'attaques initiales, le nombre et la longueur des galeries maternelles :

— nombre d'insectes (♂ et ♀) ayant pénétré (à la 3e semaine) :

rondins lutés : 16
rondins non lutés : 11

— nombre de systèmes fertiles ayant donné une descendance :

rondins lutés : 5
rondins non lutés : 4

— nombre et longueur des galeries maternelles :

rondins lutés 7 de 1 à 35 cm
rondins non lutés 5 de 1 à 10 cm.

Nous voyons donc que la différence de teneur en eau à la 3e semaine est corrélative d'une différence du nombre des attaques. *Ips sexdentatus* sensible à l'état hygrométrique du rondin, serait donc attiré par le milieu ayant le degré d'humidité le plus élevé (C. CHARARAS, 1962).

Le nombre de systèmes ayant donné une descendance est sensiblement le même dans les 2 types de rondins, mais il est nécessaire d'examiner les caractéristiques de cette descendance pour aller plus loin dans l'interprétation.

Le nombre des galeries maternelles est légèrement supérieur dans le rondin le plus humide, et surtout, les galeries y sont beaucoup plus longues. La nutrition des femelles est très limitée dans le milieu le plus sec ; dans le milieu humide, elle n'est cependant pas tout à fait normale puisque une seule galerie atteint une taille de 35 cm et que certaines n'ont que quelques centimètres de long. Cette différence de longueur des galeries entre les 2 types de rondins peut correspondre à une détérioration du milieu au point de vue nourriture, mais peut aussi s'expliquer par la mort plus précoce des femelles dans le milieu le plus sec, par suite de déshydratation.

Nous pensons alors que les femelles, en présence d'une humidité insuffisante n'ont pu satisfaire leurs besoins en eau alimentaire et ont aussi été soumises à une transpiration non compensée ; ces 2 faits étant la cause à la fois d'une mauvaise maturation des œufs et d'une mortalité précoce des femelles en cours de pontes. Ce fait devrait être confirmé par l'examen de la fécondité, mais malheureusement les encoches de ponte n'ont pu être dénombrées par suite d'une destruction des systèmes par les adultes en nutrition.

b) *Les caractéristiques de la génération fille.*

— Nombre de descendants :

rondins lutés : 40
rondins non lutés : 23

— sexe des descendants :

rondins lutés : ♂ 57 p. 100 ; ♀ 43 p. 100
rondins non lutés ♂ 59 p. 100 ; ♀ 41 p. 100.

La différence observée dans le nombre de descendants peut être le résultat de 2 phénomènes qui ne s'excluent pas mutuellement.

1. Conséquence de galeries maternelles moins longues dans le milieu sec, donc d'un moins grand nombre d'œufs pondus, et donc d'une fécondité plus faible des parents.

2. Conséquence d'une mortalité larvaire plus forte, due à une dessication du milieu.

A notre avis, les deux phénomènes sont à retenir et doivent ajouter leurs effets.

La sex-ratio dans les deux milieux est sensiblement la même, un sexe ne semble donc pas plus sensible qu'un autre à la sécheresse. Dans les deux cas cependant il y a une légère prépondérance des mâles.

— taille de la génération fille :

Les résultats sont consignés dans le tableau 1, avec ceux relatifs à la génération parentale.

Les insectes de la génération fille n'ayant pas tout à fait terminé leur nutrition de maturation, la comparaison n'est pas rigoureuse avec la génération parentale qui était en essaimage, mais on peut cependant dégager les tendances suivantes : Les insectes issus des rondins lutés ont à peu près la même taille que leurs parents, mais sont plus lourds, tandis que ceux issus des rondins non lutés sont plus petits et beaucoup plus légers.

Les 2 générations filles, par contre, sont parfaitement comparables entre elles puisque prises au même stade de développement ; celle issue des rondins les plus secs a des individus de taille et de poids nettement inférieurs à ceux des individus provenant des rondins « humides ». Le calcul par l'analyse de variance montre que la différence de taille entre les deux populations est significative ou hautement significative (tabl. 1). Pour les poids, aucun calcul n'a pu être effectué, car les pesées individuelles n'ont pas été faites (le poids moyen a été obtenu à partir du poids total de tous les insectes présents dans une catégorie de rondins), mais ce facteur étant fonction de la largeur et de la longueur de l'insecte, on peut penser que la différence entre les poids des deux populations a des chances d'être significative.

TABLEAU I

Taille et poids des insectes de la génération parentale, et de la génération fille sur rondins lutés ou non aux extrémités

Les nombres représentent les moyennes par insecte et les variances σ^2 de tous les individus mesurés ou pesés

	L (mm)	l (mm)	Poids (mg)	Nombre d'individus testés
Génération parentale	6,45 $\sigma^2 = 0,11$	2,41 $\sigma^2 = 0,008$	21,22	50
Génération fille sur rondins lutés	6,34 $\sigma^2 = 0,14$	2,43 $\sigma^2 = 0,034$	22,78	38
Génération fille sur rondins non lutés	6,11 $\sigma^2 = 0,18$	2,27 $\sigma^2 = 0,025$	18,87	22

L = longueur du bord antérieur du pronotum à l'extrémité des élytres.
l = largeur du pronotum.

Un milieu sec entraîne donc un mauvais développement d'*Ips sexdentatus* en empêchant la satisfaction des besoins en eau alimentaire et la compensation de la transpiration. Les insectes ont un développement complet mais sont de taille et de poids nettement plus faibles ; et il serait intéressant de compléter cela par une étude sur la fécondité et la résistance à différents facteurs des individus issus d'un tel milieu.

Reçu pour publication en janvier 1975.

SUMMARY

HUMIDITY AND DRYNESS IN ENVIRONMENT BELOW CORTICAL : CONSEQUENCES ON THE ASSOCIATED FAUNA

The laboratory study on dryness (during 15 weeks) of environment below cortical layers (phloem and sapwood) of log of « Sylvestre » pine shows that if water is lost at the level of section, this loss becomes nil in some period (4 weeks in the present case). Great loss occurs directly through cortex. Phloem contains more water than sapwood but it has always an increased saturation level. The sapwood is saturated by water content in the order of 370 p. 100 compared to dry weight, while for sapwood it is 105 p. 100. The consequences on the fauna found below cortical layer have been explained : the dryness diminishes the number of attacks of *Ips sexdentatus*, as well as the number and length of maternal galeries ; it brings forth the diminution of numerical importance of successive generation. It has also negative influence on the size of descendants, judged by width of pronotum and length measured from anterior border of pronotum to the extremity of elytra.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHARARAS C., 1958. Recherches sur la biologie de *Pityokteines curvidens* BERM. et étude de son comportement à l'égard des substances extraites des oléorésines. *Ann. Inst. Nat. Agron.*, **44**, 1-49.

CHARARAS C., 1962. *Scolytides des Conifères : Encyclopédie entomologique.* P. Lechevalier, Paris, 556 p.

CHARARAS C., 1967. Recherches sur l'attractivité exercée par divers conifères à l'égard d'*Ips sexdentatus*. *Ann. Soc. Ent. Fr.*, **3**, 777-85.

CHARARAS C., 1970. Écologie des Scolytidae. *Bull. Soc. Ecol.*, **3**, 169-88.

DAJOZ R., 1966. Écologie et Biologie des Coléoptères xylophages de la Hêtraie. *Vie et Milieu*, **18** 1-*c* et 2-*c*, 527-763.

GAUMER G. C., GARA R. I., 1967. Effects of phloem temperature and moisture content on the development of the southern pine beetle. *Contrib. Boyce Thomp. Inst.*, **23**, 372-377.

HODGES J. D., PICKARD L. S., 1971. Lightning in the ecology of the southern pine beetle, *Dendroctonus frontalis* (*Coleoptera, Scolytidae*). *Can. entomol.*, **103**, 44-51.

IABLOKOFF A. Kh., 1947. Contribution à l'étude du facteur hygrométrique dans l'écologie et la biologie des insectes xylophages. *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, **52**, 88-95.

LISON L., 1968. *Statistiques appliquées à la biologie expérimentale. La planification de l'expérience et l'analyse des résultats.* Gauthiers-Villars, Paris, 346 p.

PARKER D. L., DAVIS D. W., 1971. Feeding habits of *Corticeus substriatus* (*Coleoptera, Tenebrionidae*) associated with the mountain pine beetle in lodgepole pine. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **64**, n° 1, 293-4.

PESSON P., CHARARAS C., 1969. Les Scolytides, insectes ravageurs mondiaux des forêts de conifères. *Ann. biol.*, **8**, 683-733.

SAVELY H. E., 1939. Ecological relations of certain animals in dead pines and oak logs. *Ecological Monographs*, **9**, 323-85.

VILLIÈRE A., 1953. *Séchage des bois.* Dunod, Paris, 364 p.

WEATHERLEY P. E., 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. field measurement of water deficit in leaves. *New Phytol.*, **49**, 81-97.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 185-195.

LE DIAGNOSTIC IMMUNOLOGIQUE DANS LA PERSPECTIVE DE LA LUTTE MICROBIOLOGIQUE CONTRE LES INSECTES

G. CROIZIER [1]

Station de Recherches cytopathologiques, I. N. R. A., 30380 Saint-Christol

RÉSUMÉ

La lutte microbiologique contre les insectes n'est concevable pour des raisons de sécurité et d'efficacité, que dans la mesure où les germes entomopathogènes sont suffisamment identifiés.

Dans cet esprit, l'auteur s'applique à montrer les caractéristiques et les limites de l'emploi des techniques sérologiques, l'apport de celles-ci dans le diagnostic des maladies d'insectes et dans l'identification des germes employés en lutte microbiologique.

Le diagnostic immunologique est appelé à rendre des services dans des circonstances variées. Il permet en pathologie des insectes de diagnostiquer les maladies. Il permet de suivre le devenir d'un germe chez des hôtes variés et peut apporter une contribution non négligeable à l'établissement des spectres d'hôtes. Son emploi semble aller de soi dans le contrôle de l'innocuité d'un germe vis-à-vis des mammifères. Le diagnostic précoce et les cinétiques d'infection bénéficient des techniques sérologiques.

Ces méthodes sont particulièrement efficaces pour différencier des germes voisins et apportent une contribution majeure à la résolution du problème de l'identification des agents pathogènes.

Les entomopathologistes font dans l'ensemble de plus en plus appel aux techniques sérologiques. Les causes qui ont fait négliger ces techniques sont nombreuses. Il est possible d'en citer qui paraissent déterminantes. La multiplication des agents pathogènes est souvent massive chez les insectes ce qui facilite les diagnostics histologiques. Les premiers entomovirus étudiés appartenaient à la catégorie des virus inclus facilement repérables en microscopie photonique. Le diagnostic par recherche d'anticorps chez un sujet malade couramment pratiqué chez les mammifères n'est pas réalisable chez les insectes qui ne possèdent pas d'anticorps circulants. De plus,

[1] Rapport présenté par l'auteur au Symposium O. I. L. B./S. R. O. P. sur les *Méthodes de diagnostic des maladies d'insectes en vue de leur utilisation en lutte microbiologique*, Saint-Christol, France, les 21 et 22 mars 1974.

l'enseignement de l'immunologie ne fait pas habituellement partie de la formation des entomologistes.

On comprend alors que ces conditions ne favorisaient pas un effort suivi et important dans la mise au point et en œuvre du diagnostic sérologique. La croyance ancienne à la spécificité assez stricte des agents entomopathogènes vis-à-vis de leurs hôtes a constitué un frein puissant supplémentaire au développement rapide de la sérologie.

La situation qui prévaut actuellement est assez différente. D'une part les notions de plus en plus précises acquises en particulier sur la spécificité des germes vis-à-vis des hôtes, sur les souches pathogènes affectant le même insecte, sur les mutations et sur l'endémicité incitent à se servir davantage des techniques discriminatives de l'immunologie. La découverte récente de très nombreux virus libres favorise aussi l'emploi de ces techniques. D'autre part le développement de la lutte microbiologique exige une meilleure caractérisation des germes et avant tout la mise au point de procédés permettant une identification précise. Les techniques sérologiques sont particulièrement appropriées pour étudier ce problème. Le principe de ces techniques repose en effet sur la spécificité stricte de la réaction antigène-anticorps. Les antigènes sont représentés ici par les germes pathogènes ou leurs extraits et les anticorps sont contenus dans des sérums de lapins immunisés contre ces antigènes.

Dans le cadre d'un symposium, comme celui-ci, consacré aux « méthodes de diagnostic des maladies d'insectes en vue de leur utilisation en lutte microbiologique » on est conduit à examiner successivement deux aspects distincts du diagnostic immunologique. Les techniques sérologiques sont en effet utiles pour la connaissance des agents entomopathogènes, ou des maladies, dans une étape qui du point de vue de la lutte microbiologique constitue un stade préliminaire. Ces mêmes techniques acquièrent une valeur irremplaçable lors des étapes suivantes de la lutte microbiologique lorsque le problème n'est plus seulement de reconnaître le genre, voire l'espèce, auquel appartient un germe mais d'identifier dans des chaînes de fabrication ou dans des écosystèmes variés une souche bien particulière.

Un certain nombre d'agents pathogènes candidats à la lutte microbiologique sont bien connus et il semble réaliste de se pencher en priorité sur leur cas. En effet, on ne saurait atteindre un degré satisfaisant dans la maitrise des systèmes de lutte microbiologique si, à côté de nombreux autres problèmes, on ne résolvait pas la question fondamentale de l'identification des germes entomopathogènes en cause. On peut déjà remarquer à cet égard que le germe le plus utilisé dans la pratique, *Bacillus thuringiensis*, est également celui chez lequel les différentes souches et les différents sérotypes ont été le plus étudiés.

« L'apport des techniques sérologiques dépasse le stade du diagnostic proprement dit pour toucher à la connaissance profonde des substances antigéniques » comme le rappelait De Barjac lors du *Colloque de Pathologie des Insectes* de Wageningen en 1966. Cette considération oriente le plan de l'exposé qui comprendra trois parties :

I. Caractéristiques des techniques sérologiques et limites de leur emploi.
II. Le diagnostic sérologique des maladies d'insectes.
III. Identification immunologique des germes employés en lutte microbiologique

I. — CARACTÉRISTIQUES ET LIMITES DE L'EMPLOI DES TECHNIQUES SÉROLOGIQUES

A. — *Aspects particuliers liés aux insectes*

Comme il a déjà été rappelé, les insectes sont dépourvus d'anticorps. Il n'existe pas en conséquence d'antisérums (ou antihémolymphe) d'insectes. Pour pratiquer les techniques sérologiques on fait appel aux sérums expérimentaux obtenus chez les mammifères et en particulier chez le Lapin. Ces sérums sont souvent de bonne qualité. Dans la majorité des cas cependant lorsque les agents entomopathogènes ne se multiplient pas chez le mammifère qui sert à préparer le sérum, les anticorps sont seulement dirigés contre les antigènes constitutifs des germes. Ce fait constitue une autre limitation dans l'emploi de la sérologie chez les insectes.

B. — *Sensibilité*

La sensibilité est une qualité appréciable de nombreuses techniques sérologiques. Par exemple, l'inhibition de la migration des macrophages *in vitro* pour des cobayes sensibilisés par un baculovirus est complète en présence de suspensions virulentes contenant seulement 30 microgrammes de virions par millilitre (BENTON *et al.*, 1973).

Une grande sensibilité est naturellement le fait des techniques immunohistologiques, immunofluorescence et immunoperoxydase, qui permettent d'envisager de pratiquer des diagnostics précoces.

Les techniques moins sensibles comme les précipitations en gel ou les agglutinations demandent en général peu de matériel.

Il convient de souligner un aspect pratique lié aux considérations sur la sensibilité des techniques. La plupart des tests immunologiques sont sensibles et demandent peu de matériel. Par contre la mise au point des techniques et l'obtention des sérums en demandent davantage. Les facilités de multiplication et de purification des germes influent d'une manière décisive et font qu'un test immunologique sera ou ne sera pas réalisé.

C. — *Simplicité*

Les techniques sérologiques classiques, agglutination, précipitation, fixation du complément, séroneutralisation... sont réalisables sans installation onéreuse ou spéciale et par un personnel peu spécialisé ayant seulement suivi de courts stages sur ces sujets.

La technique d'immunofluorescence n'est guère plus compliquée. Pour la pratiquer il faut néanmoins posséder un microscope muni d'une source UV et d'objectifs spéciaux.

Ces techniques sont assez simples pour permettre des diagnostics de routine et ne constituent donc pas en elles-mêmes un obstacle à l'emploi du diagnostic immunologique. Le facteur pratique limitant, réside dans la difficulté à se procurer les sérums à l'extérieur ou à les produire soi-même.

Dans les cas où un diagnostic précoce est souhaité, l'immunofluorescence est une solution élégante et rentable. Cette même technique permet le diagnostic de routine des viroses à virus libres et évite le recours à l'emploi du microscope électronique pour déceler leur présence.

D. — *Spécificité*

La spécificité est la qualité essentielle du diagnostic immunologique. Il est souvent possible de différencier aisément et sûrement des germes morphologiquement indiscernables issus aussi bien d'hôtes variés que d'un hôte commun. Chez les bactéries d'insectes les différents sérotypes de *Bacillus thuringiensis* en sont l'exemple le plus évident (De Barjac et Bonnefoi, 1973). Chez les entomovirus on peut citer les virus libres de *Nudaurelia cytherea cytherea* (Juckes *et al.*, 1973) ou les virus des souches de granuloses de *Cirphis unipuncta* (Tanada et Watanabe, 1971).

On connaît cependant des limites à cette spécificité. Les communautés antigéniques fortuites existent mais sont relativement rares. Les substances des groupes sanguins humains A et B et les antigènes bactériens en fournissent un exemple. Une autre cause d'interférence réside dans le fait que certains germes, certains groupes de virus en particulier les myxovirus et les rhabdovirus (Dales, 1965 ; Compans et Choppin, 1971), peuvent inclure dans leur enveloppe des substances appartenant en propre à l'hôte. Un autre écart à la règle de spécificité est le fait des anticorps anti-acides nucléiques. Ceux-ci sont peu spécifiques et ils entrainent des complications dans l'appréciation des relations antigéniques. L'étude des virions des virus de polyédroses cytoplasmiques illustre bien ce point (Krywienczky et Hayashi, 1971).

Une cause plus banale et plus fréquente de la non spécificité des réactions sérologiques est imputable à l'expérimentateur. Les antigènes servant à l'immunisation sont parfois insuffisamment purs. Un soin tout particulier doit être apporté à la purification des antigènes. Il est également recommandé d'avoir recours à des absorptions de sérums et il est indispensable d'introduire divers témoins lors des tests immunologiques.

E. — *Signification du sérotype*

La possibilité de subdiviser une espèce en sérotypes repose sur l'existence des différences antigéniques présentées par ses membres. Autrement dit une espèce microbienne comporte plusieurs sérotypes chaque fois qu'à l'aide d'une technique sérologique il est possible de différencier en son sein des sous-types.

Plusieurs découpages sérotypiques sont théoriquement réalisables si l'on examine diverses classes d'antigènes chez le même germe. Par exemple *Bacillus thuringiensis* possède des sérotypes fondés sur les antigènes H des flagelles (De Barjac et Bonnefoi, 1973). Cette espèce possède des sérotypes plus nombreux si l'on s'intéresse aux divers antigènes des cristaux parasporaux (Pendleton, Morrison, 1966). De même les antigènes impliqués dans la séroneutralisation ne sont pas nécessairement ceux intervenant par exemple dans la fixation du complément et par suite les sérotypes correspondants ne sont pas forcément les mêmes.

Une question intéressante est celle de savoir quelle est l'importance relative de la subdivision d'une espèce en sérotypes par rapport à des subdivisions établies sur d'autres critères et portant les noms de souches, clones, biotypes, lyzotypes... Une constatation liminaire s'impose ; il n'existe pas de correspondance nécessaire entre la

subdivision sérotype et les autres subdivisions de l'espèce. De plus l'importance relative du sérotype varie selon les Germes. Lorsque la morphologie permet une certaine différenciation entre les germes pathogènes et lorsque les microorganismes peuvent être caractérisés par les particularités de leur métabolisme comme pour les champignons, les bactéries, les mycoplasmes, la situation est différente de celle présentée par les virus, par exemple. Au sein d'une même classe de germes les situations peuvent être très variables.

Sur un plan théorique, on peut dire que les mutations produisent des différences antigéniques avec un rendement difficile à préciser. Les rendements des mutations intéressant les caractères qui entrent dans la définition des biotypes ne sont guère mieux connus et vraisemblablement plus bas. La finesse que l'on peut atteindre dans la subdivision d'une espèce en se basant sur la variabilité antigénique ou enzymatique ou encore en faisant appel aux différences physicochimiques existant au sein d'une espèce moléculaire donnée dépend non seulement de l'étendue de cette variabilité, mais du nombre d'espèces moléculaires accessibles par les techniques que l'on met en œuvre.

Dans la pratique la subdivision sérotypique s'est montrée très efficace bien que variable selon les germes. Chez *Bacillus thuringiensis* le sérotype possède une place privilégiée dans la définition des souches. La classification des iridovirus fait également largement appel aux différences antigéniques (TINSLEY et KELLY, 1970).

F. — *Sérotype et virulence*

Les rapports entre sérotype et virulence ne sont qu'un cas un peu particulier des rapports discutés au paragraphe précédent.

Il serait heureux de pouvoir prédire la virulence d'un germe en s'appuyant sur la connaissance de son sérotype ou de toute particularité antigénique. Cette situation n'est qu'exceptionnellement réalisée. Dans un nombre de cas limités on connait les bases moléculaires de la virulence ou d'une de ses composantes. Celle-ci peut être liée à la production d'enzymes assurant la pénétration du germe, à la production de toxines, à l'existence de molécules en position externe facilitant l'attachement aux cellules etc...

A ce propos l'exemple des virus grippaux humains est instructif. Il a été démontré récemment que les épidémies grippales étaient déclenchées à la suite de l'apparition de virus de types nouveaux qui diffèrent du type responsable de l'épidémie précédente par une modification mineure de la protéine de la capside. Cette modification a pour conséquence que le nouveau type viral n'est pas neutralisé par les anticorps présents dans les populations ayant subi l'épidémie précédente. Dans ce cas la virulence est assez directement liée au sérotype.

Dans les hydrolysats enzymatiques des inclusions parasporales de *Bacillus thuringlensis*, la présence de certains antigènes comme par exemple l'antigène h est un indicateur de l'activation des protoxines (PENDELTON, 1973). L'étude des déterminants antigéniques des toxines protéiniques est assurément une voie prometteuse pour lier les sérotypes à la virulence.

Chez *Beauveria tenella* SEGRETAIN *et al.*, (1971) ont signalé l'existence d'un rapport entre la pathogénicité de certaines souches et la présence d'une estérase identifiable sérologiquement.

Il ne faut cependant pas trop s'attendre à ce que ces résultats se généralisent. En effet, la virulence est d'une part un caractère en général mal défini et d'autre part une fraction probablement importante des liaisons observées est fortuite.

G. — *Limites de l'emploi des techniques sérologiques*

Les techniques sérologiques dans le domaine qui nous intéresse remplissent deux fractions complémentaires ; elles contribuent au diagnostic des maladies, elles sont très utiles pour l'identification précise des germes pathogènes responsables.

— Dans le domaine strict du diagnostic, pour les différentes raisons que nous avons évoquées précédemment, le recours aux techniques sérologiques chez les insectes n'est pas indispensable dans de nombreux cas. Ces techniques sont d'un intérêt certain lorsque la multiplication des germes est discrète et lorsque les germes sont difficilement mis en évidence en microscopie optique.

— L'apport de l'immunologie est essentiel par contre lorsque les exigences du pathologiste augmentent et que la détermination du genre voire de l'espèce d'un germe ne lui paraît pas suffisante.

— Il est évident que l'immunologie n'est pas la seule discipline qui permette l'identification des microorganismes mais les considérations déjà énoncées sur la sérotypie montrent qu'elle apporte une contribution importante dans ce domaine.

— Le recours aux immusérums implique que la nature des germes soit connue avant d'entreprendre une étude immunologique. Ceci revient à dire que les techniques sérologiques ne sont guère utiles dans la prospection de nouveaux germes. Elles permettent de mettre en évidence des différences entre des microorganismes appartenant à un même groupe.

II. — LE DIAGNOSTIC SÉROLOGIQUE DES MALADIES D'INSECTES

Le terme « diagnostic » s'appliquant à des situations assez diverses et la frontière entre le diagnostic et l'identification des germes étant souvent difficile à préciser il importe de définir assez précisément les problèmes de pathologie posés pour estimer dans quelle mesure les techniques sérologiques peuvent aider à les résoudre.

La situation la plus classique du diagnostic, c'est-à-dire celle dans laquelle on cherche à savoir quelles sortes d'agents infectieux sont responsables de la mortalité constatée dans une population naturelle d'insectes ou dans un élevage n'a pas à être étudiée dès l'abord en faisant appel à l'immunologie. Par contre si l'on a lieu de supposer la présence d'un germe particulier dans cette population et que l'on ne possède pas de technique simple pour confirmer cette hypothèse, on peut faire appel à la sérologie. Il est difficile de multiplier les exemples illustrants cette situation. Il semble qu'elle puisse s'appliquer au cas des virus libres dont le nombre et la diversité ne cessent de croître chez les invertébrés. La présence du Rhabdion virus chez les *Oryctes rhinoceros* est diagnostiquée en routine, par immunofluorescence, dans notre Laboratoire (Croizier et Monsarrat, 1974).

Dans le cas du diagnostic précoce et d'une manière plus générale lorsqu'on cherche à préciser la cinétique de l'infection chez un insecte l'immunofluorescence voire l'immunoperoxydase permettent l'obtention rapide des données demandées.

Les études de pathogénèse réalisées en culture cellulaire bénéficient largement de l'emploi de ces techniques (KRYWIENCZYK et SOHI, 1967 ; QUIOT *et al.*, 1973).

Un important problème de diagnostic est posé par l'étude des spectres d'hôtes. La condition première à réaliser pour qu'un spectre d'hôte soit sûr est de reconnaître la multiplication du germe étudié chez divers insectes sans qu'il soit possible de confondre ce premier avec des germes voisins. En particulier la fréquence relativement importante des viroses dites latentes fait que cette condition n'est pas souvent réalisée. Il est par suite indispensable de pouvoir identifier très précisément le germe que l'on étudie. Dans cette perspective les techniques immunologiques se voient offrir un champ d'action très vaste.

Les préoccupations actuelles sur les garanties d'innocuité des germes entomopathogènes pour les animaux d'autres groupes zoologiques exigent qu'on recherche la présence de ces germes chez des animaux variés et qu'on suive le devenir des germes introduits chez des animaux expérimentalement contaminés. Bien que les techniques sérologiques aient peu servi dans ce domaine on peut espérer qu'elles contribueront à son développement.

Un chapitre très important concerne les nombreuses situations imaginables dans lesquelles plusieurs germes voisins par la morphologie se trouvent simultanément impliqués. La liste des germes et des espèces d'insectes concernés est fort longue. Nous nous contenterons de signaler quelques exemples. L'abeille héberge plusieurs picornavirus, il en est de même pour la drosophile. Les virus de polyédroses cytoplasmiques ou les iridovirus sont assez peu spécifiques et de nombreuses espèces de Lépidoptères sont sensibles à plusieurs espèces de virus de chaque type. Plusieurs espèces de *Rickettsiella* peuvent se multiplier chez *Melolontha melolontha*. *Nudaurelia* possède deux virus libres différents. L'identification sérologique des germes permet dans bien des cas de donner un diagnostic précis.

Cette énumération montre que le diagnostic sérologique est encore peu pratiqué mais qu'il existe pour lui une utilisation potentielle considérable dont les pathologistes peuvent bénéficier s'ils le désirent.

III. — IDENTIFICATION IMMUNOLOGIE DES GERMES EMPLOYÉS EN LUTTE MICROBIOLOGIQUE

Le matériel de base de la lutte microbiologique est constitué d'un certain nombre de préparations de germes. A leur sujet il se pose des problèmes de reconnaissance. A la limite identifier un germe est reconnaître de quelle préparation il est issu. L'identification ainsi définie est-elle une chose possible?

La réponse à cette question est fort complexe. Il est utile de rappeler qu'une préparation est une population plus ou moins homogène de germes. Cette population n'est pas immuable elle peut se modifier considérablement au cours des multiplications par mutations suivies de sélection ou de dérive génétique. Si l'on considère maintenant les différences entre les préparations, elles peuvent exister et nous apparaître après emploi de techniques appropriées mais il existe des différences difficiles à révéler. Il semble à la réflexion que nos ambitions à reconnaître des germes sont rapidement limitées.

Il n'en demeure pas moins que l'identification des germes est une nécessité en lutte microbiologique pour de nombreuses raisons. Cette reconnaissance doit être poussée le plus loin possible.

En pratique identifier un germe c'est établir à quelle subdivision ultime de la classification il appartient. L'identification sera d'autant plus précise que l'espèce microbienne sera découpée en un plus grand nombre de subdivisions. Nous avons déjà discuté des classifications selon des caractères sérologiques ou d'autres caractères. Nous allons examiner plus concrètement le cas de *Bacillus thuringiensis*, des *Baculovirus* et des *Beauveria*.

Identification de Bacillus thuringiensis

Bacillus thuringiensis a bénéficié de nombreux et intéressants travaux d'ordre taxonomique résumés récemment par De Barjac et Bonnefoi (1973). *Bacillus thuringiensis* se répartit actuellement en 17 variétés ou souches-types définies selon des critères enzymatiques et sérologiques. L'agglutination flagellaire à elle seule permettrait de définir 15 de ces 17 variétés. Il existe une concordance très étroite entre le sérotype fondé sur les antigènes flagellaires et les biotypes définis par un ensemble de caractères biochimiques et en particulier d'activités enzymatiques. Seules les souches appartenant à deux sérotypes particuliers (H 4*a*-4*b* et H 6) appartiennent à deux biotypes (var. *sotto* et *dendrolimus* pour le sérotype H 4*a*-4*b* et var. *subtoxicus* et *entomocidus* pour le sérotype H 6). Les souches appartenant à ces 17 variétés peuvent encore être différenciées en prenant en compte des caractères supplémentaires tels que les activités DNasique, RNasique ou arginine-dihydrolasique.

Le recours à la caractérisation du métabolisme des bactéries est un bon moyen de différenciation des souches. L'apport de l'immunologie est efficace également. Dans le cas présent en dehors de l'étude de l'antigène privilégié H, d'autres travaux ont porté sur les antigènes de l'inclusion parasporale. Si la valeur taxonomique de ces antigènes n'est pas évidente, leur étude permet cependant de différencier des souches.

Identification des Baculovirus

Après *Bacillus thuringiensis*, les germes les plus prometteurs en lutte microbiologique sont les virus du groupe des *Baculovirus*. Cette opinion a été émise par un groupe d'experts réunis par la F.A.O. et l'O.M.S. en 1973 à Genève pour étudier l'emploi des entomovirus en lutte microbiologique (Rapport F.A.O./O.M.S., 1973). La recommandation de l'étude prioritaire de ces germes repose à la fois sur leur potentialité intéressante pour la lutte contre les insectes ravageurs et leur sécurité d'emploi si l'on considère le problème de l'innocuité vis-à-vis des mammifères.

Si les premiers travaux sur les antigènes des baculovirus sont forts anciens puisqu'ils remontent à 1921 avec Aoki et Chigasaki et à 1939 pour les virions eux-mêmes avec les travaux de Gratia et Paillot l'apport actuel dans l'identification des virus est très limité.

L'identification des virus ne pouvant reposer sur les caractéristiques du métabolisme, les critères à retenir sont, en dehors de la morphologie et des caractères biologiques, ceux fondés sur l'étude des antigènes et ceux fondés sur l'analyse moléculaire physicochimique.

En ce qui concerne la caractérisation antigénique elle peut porter sur deux fractions différentes. Les protéines des corps d'inclusion représentent la première. La seconde est constituée par les antigènes des virions.

Il a été montré d'ailleurs qu'il peut exister des antigènes communs à ces deux fractions (LONGWORTH *et al.*, 1972 ; YOUNG et JOHNSON, 1972). L'étude des protéines des corps d'inclusion ou celle des protéines des virions présentent chacune des avantages.

Les protéines des corps d'inclusion sont abondantes, très antigéniques. Il existe de grandes différences dans la facilité de solubilisation des inclusions. A cette première difficulté qui est surmontable dans la plupart des cas s'ajoute un second facteur défavorable. Les protéines des corps d'inclusion des baculovirus se ressemblent beaucoup et apparaissent d'un point de vue phylogénétique très stables. Ces protéines sont moins spécifiques des espèces virales que les protéines des virions (BELLETT, 1969 ; CROIZIER et MEYNADIER, 1973 *b*). En dépit de ces deux inconvénients, les antigènes des corps d'inclusion permettent facilement la différenciation de virus se multipliant chez différentes espèces d'insectes (KRYWIENCZYK et BERGOLD, 1961 ; CROIZIER et MEYNADIER, 1973 *a*) ils permettent également de différencier des souches virales affectant le même hôte (TANADA et WATANABE ; 1971).

Les protéines de virions, quant à elles sont en quantité plus faible et posent d'importants problèmes de purification. Par contre leur emploi permet de mieux discriminer les souches virales. L'antigénicité des virions réside en partie dans les molécules de l'enveloppe, il est cependant possible d'accéder aux antigènes internes des virions (SCOTT et YOUNG, 1973). Bien que des travaux récents soient entrepris dans la comparaison des virus un effort très important devrait être fait dans ce domaine. Il est en particulier indispensable de réunir une gamme assez large de virus d'origines variées pour constituer une batterie de sérums efficace. Cette réalisation n'est possible qu'avec une collaboration internationale très large.

Identification des Beauveria

L'emploi des champignons en lutte microbiologique est moins courant que celui des deux groupes précités. L'efficacité de ces germes est intéressante mais il existe à leur endroit des réserves concernant leur manque de spécificité.

Parmi les champignons entomopathogènes, ceux appartenant au genre *Beauveria* sont sans doute les plus étudiés et font déjà l'objet de préparations industrielles.

L'identification des souches de *Beauveria* est réalisable en prenant en compte les caractéristiques du métabolisme et les différents antigènes (PARIS, 1973 ; FARGUES *et al.*, 1974). Un effort intéressant de détection immunologique des enzymes responsables de la pathogénicité des souches est également entrepris (SEGRETAIN *et al.*, 1971). Le développement de ces études devrait apporter des résultats très positifs dans un avenir prochain.

CONCLUSIONS

Au terme de ce rapport nous aimerions rappeler très brièvement les conclusions principales qui se dégagent de cet exposé.

Le diagnostic immunologique est appelé à rendre des services dans des circons-

tances variées. Il permet en pathologie des insectes de diagnostiquer les maladies. Il permet de suivre le devenir d'un germe chez des hôtes variés et peut apporter une contribution non négligeable à l'établissement des spectres d'hôtes. Son emploi semble aller de soi dans le contrôle de l'innocuité d'un germe vis-à-vis des mammifères. Le diagnostic précoce et les cinétiques d'infection bénéficient des techniques sérologiques.

Ces techniques sont particulièrement efficaces pour différencier des germes voisins et apportent une contribution majeure à la résolution du problème de l'identification des agents pathogènes.

Les résultats obtenus dans le domaine de l'identification quand interviennent des données sérologiques dépendent de la valeur des immunsérums de référence utilisés. On possède seulement pour *Bacillus thuringiensis* une gamme de sérums convenable. On est beaucoup moins avancé dans ce domaine en ce qui concerne les autres germes utilisés en lutte microbiologique. Il nous semble qu'un effort concerté des immunologistes et des utilisateurs portant sur l'identification de ces germes est souhaitable.

Nous avons tout au long de ce rapport signalé les possibilités et les limites des techniques sérologiques, aussi bien dans le diagnostic proprement dit où elles sont très insuffisamment utilisées que pour l'identification précise des germes. Dans ce dernier cas il ne faut pas oublier que les différentes disciplines, loin d'être exclusives sont complémentaires et doivent dans la mesure du possible être utilisées conjointement.

Reçu pour publication en janvier 1975.

SUMMARY

THE IMMUNOLOGICAL DIAGNOSIS WITH REGARD TO THE MICROBIOLOGICAL CONTROL OF INSECT PESTS

The microbiological control of Insects requires, for safety and efficacity reasons, a precise identification of the entomopathogenous germs.

According to this, the author develops the characteristics and limits of the serological techniques, their role in the diagnosis of Insect diseases and in the determination of the germs used for Biological Control.

The immunological diagnosis is to become very usefull in various circonstances. It allows to diagnose the diseases in Insect Pathology. It allows to determine the fate of germs inside various hosts, and can, in no small measure, contribute in the establishing of host-range. It should be of common use in testing the innocuity of germs for mammals. The early diagnosis, and cinetics of infection are made possible or easier thanks to serological technique.

These methods are specially efficient to differentiate closely related germs and very usefull for the identification of the pathogenous agents.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aoki K., Chigasaki Y., 1921. Immunisatorische studian über die Polyeder körperchen bei Gelbsucht von Seidenraupen (Zelleinschluss). *Zhtr. Bakl. Parasitenk Abt. I. Orig.*, **86**, 481-485.

Bellett A. T. D., 1969. Relationships amoung the polyhedrosis and granulosis viruses of Insects. *Virology*, **37**, 117-123.

BENTON C. V., REICHELDERFER C. F., METRICK F. M., 1973. Differenciation of *Trichoplusia ni* MEV and *Autographa californica* MEV by macrophage inhibition tests. *J. Invert. Pathol.*, **22**, 42-49.

COMPANS R. W., CHOPPIN P. W., 1971. The structure and assembly of influenza at parainfluenza viruses. In : *Comparative virology*, MARAMOROSCH K. et KURSTAK E., Acad. Press. New York, 407-430.

CROIZIER G., MEYNADIER G., 1973 *a*. Les protéines des corps d'inclusions des *Baculovirus*. II. Étude de six granuloses. *Entomophaga*, **18**, 251-257.

CROIZIER G., MEYNADIER G., 1973 *b*. Étude des protéines des corps d'inclusion des *Baculovirus*. III. Étude comparée de la granulose de *P. brassicae* et de la polyédrose de *B. mori*. *Entomophaga*, **18**, 431-437.

CROIZIER G., MONSARRAT P., 1974. Diagnostic immunologique d'une virose du Coléoptère *Oryctes rhinoceros*. *Entomophaga*, **19**, 115-116.

DALES S., 1965. Replication of animal viruses as studies by electron microscopy. *American J. Med.*, **38**, 699-715.

DE BARJAC H., 1967. Diagnostics sérologiques. In *Insect Pathology and microbial control*, VAN DER LAAN ed., North Holland Publ. Co., Amsterdam, 71-78.

DE BARJAC H., BONNEFOI A., 1973. Mise au point sur la classification des *Bacillus thuringiensis*. *Entomophaga*, **18**, 5-17.

FARGUES J., DURIEZ T., ANDRIEU S., POPEYE R., 1974. Analyse sérologique comparée de deux champignons entomopathogènes, *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. et *Beauveria tenella* (DELACR.) SIEM. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **278** D, 2245-2247.

GRATIA A., PAILLOT A., 1939. Étude sérologique du virus de la grasserie des vers à soie. *Arch. Ges. Virusforsch.*, **1**, 130-139.

JUCKES I. R. M., LONGWORTH J. F., REINGANUM C., 1973. A serological comparison of some nonoccluded insect viruses. *J. Invert. Pathol.*, **21**, 119-120.

KRYWIENCZYK J., BERGOLD G. M., 1961. Serological studies of inclusion body proteins by agar diffusion technique. *J. Invert. Pathol.*, **3**, 15-28.

KRYWIENCZYK J., HAYASHI Y., 1971. Specificity of serological crossreactions between insects viruses and ribosomes. *J. Invert. Pathol.*, **17**, 321-326.

KRYWIENCZYK J., SOHI S. S., 1967. Immuno-fluorescence studies of *Bombyx mori* ovarian tissue cultures infected with nuclear polyhedrosis virus. *J. Invert. Pathol.*, **9**, 568-570.

LONGWORTH J. F., ROBERTSON J. S., SINAMI K. S., 1972. The purification and properties of inclusion body protein of the granulosis virus of *Pieris brassicae*. *J. Invert. Pathol.*, **19**, 42-50.

PARIS S., 1973. *Étude physiologique et biochimique de* Beauveria tenella (DELCR.) SIEMASZKO *champignon pathogène pour la larve du hanneton commun* Melolontha melolontha *L*, Thèse, Paris.

PENDELTON I. R., 1973. Characterization of crystal protoxin and activated toxin from *Bacillus thuringiensis* var. *editomocidus*. *J. Invert. Pathol.*, **21**, 46-52.

PENDELTON I. R., MORRISON R. B., 1966. Analysis of the crystal antigens of *Bacillus thuringiensis* by gel diffusion. *J. Appl. Bacteriol.*, **29**, 519-528.

QUIOT J. M., MEYNADIER G., CROIZIER G., VAGO C., 1973. Study of *in vitro* pathogenesis of *Rickettsiella grylli* in insect cell cultures by immunofluorescence. *Proc. Third Intern. Coll. Invert. Tissue Culture*. June 1971, Slovak Acad. Sci. Publ., 459-465.

Rapport F.A.O./O.M.S., 1973. *Utilisation des virus dans la lutte contre les insectes nuisibles et vecteurs de maladies*. Série de Rapports techniques O.M.S. Nº 531.

SCOTT H. A., YOUNG S. Y., 1973. Antigens associated with a nuclear polyhedrosis virus from cabbage looper larvae. *J. Invert. Pathol.*, **21**, 315-317.

SEGRETAIN G., PARIS S., FERRON P., ARCONTEIL A., 1971. Rapport entre la pathogénicité de *Beauveria tenella* (DELACR.) SIEMASZKO pour la larve du hanneton *Melolontha melolontha* L, et la présence d'un arc de précipitation en immunoélectrophorèse. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 1773 (D), 140-142.

TANADA Y., WATANABE H., 1971. Disc electrophoretic and serological studies of the capsule proteins obtained from two strains of a granulosis virus of the armyworm, *Pseudaletia unipuncta*. *J. Invert. Pathol.*, **18**, 307-312.

TINSLEY T. W., KELLY D. C., 1970. An interim nomenclature system for the iridescent group of insect viruses. *J. Invert. Pathol.*, **16**, 470-472.

YOUNG S. Y., JOHNSON D. R., 1972. Nuclear polyhedrosis virus-specific soluble antigens in fat body of *Trichoplusia ni* larvae. *J. Invert. Pathol.*, **20**, 114-117.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 197-210.

RELATIONS ENTRE LES HÉTÉROPTÈRES MIRIDES NUISIBLES A LA LUZERNE PORTE-GRAINES ET LA PHÉNOLOGIE DE LA PLANTE

R. BOURNOVILLE
avec la collaboration technique de P. CANTOT

Laboratoire de Zoologie, I. N. R. A.,
86600 Lusignan

RÉSUMÉ

Adelphocoris lineolatus GOETZE et *Lygus rugulipennis* POPP. ont été élevés, en conditions contrôlées, sur des stades phénologiques précis de la Luzerne. L'alimentation de ces punaises provoque des dessèchements et des chutes d'organes floraux et fructifères, ainsi que des malformations des graines à l'intérieur des gousses. On s'est efforcé d'éviter dans ces expériences les autres causes de flétrissement des boutons, fleurs et gousses. Les relevés de populations de ces Insectes au champ permettent de préciser la coïncidence des cycles des ravageurs et de la plante. Les parcelles de Luzerne « précoupées » (1) peuvent subir des dégâts au cours de leur floraison et de leur mise à graine, tandis que sur les parcelles « non précoupées », c'est essentiellement la fructification qui risque d'être perturbée.

I. — INTRODUCTION

Une enquête menée sur les Insectes ravageurs de la Luzerne porte-graines, dont les résultats seront publiés par ailleurs, nous a montré que *Lygus rugulipennis* POPP. et *Adelphocoris lineolatus* GOETZE (*Heteroptera, Miridae*) présentent souvent sur cette culture des populations abondantes. De nombreuses études ont été effectuées en Amérique du Nord, depuis 1940, sur les *Miridae* nuisibles à la Luzerne porte-graines. Les espèces en cause sont cependant quelque peu différentes de celles rencontrées en Europe. En effet, en plus d'*A. lineolatus*, on trouve aux États-Unis, *Adelphocoris superbus* UHLER (SORENSON et CUTLER, 1954) ; quant aux *Lygus*, on relève *Lygus lineolaris* PALISOT DE BEAUVOIS dans l'Ouest du continent nord américain et *Lygus hesperus* KNIGHT dans l'Est. Dans la zone paléarctique, d'assez nombreux travaux ont porté sur la composition faunique des Hétéroptères du champ de Luzerne (ROMAN-

(1) Rappelons que, dans certaines zones de production de la Luzerne porte-graines en raison d'une pousse végétative excessive, il convient de faucher la plante lorsqu'elle atteint 50 ou 60 cm ; c'est la « précoupe ».

KOW, 1959 *a* ; POPOVA, 1966 ; POUTSHKOV, 1966 ; GOTTWALD et ROHR, 1973). Sur cette culture, diverses études (ROMANKOW, 1959 *b* ; KOLOBOVA, 1953) traitent de la biologie d'*A. lineolatus*. Les recherches sur les *Lygus* nuisibles aux productions de porte-graines de Luzerne sont moins fréquentes. En revanche, il existe des travaux sur la nuisibilité de *L. rugulipennis* sur Betterave (VARIS, 1959, 1972), sur Blé (RAUTAPAA, 1969) et diverses monographies sur la biologie de *L. rugulipennis* en particulier (STEWART, 1969), ou plus généralement sur le genre *Lygus* (BONESS, 1963 ; BECH, 1969). Seule, l'étude récente de SEDIVY (1972 *a*) a précisé la nuisibilité, en Europe, de *L. rugulipennis* et d'*A. lineolatus*, en conditions contrôlées sur un stade précis du végétal, à savoir sur les graines mûrissant dans les gousses. Il nous est apparu nécessaire d'effectuer dans des conditions évitant toute autre cause de chute d'organes floraux ou fructifères, une étude comparative de l'action des deux *Miridae* nuisibles à la Luzerne porte-graines. Pour cela nous avons choisi des plantes de Luzerne à des stades phénologiques précis pour servir d'aliments aux punaises. Nous avons ensuite rapproché les conclusions de ces expérimentations des relevés effectués au champ pour définir la période de nuisibilité des *Miridae*.

II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. — *Les Insectes*

Les punaises ont été recueillies au filet-fauchoir, dans des parcelles de Luzerne. Une trentaine d'individus de chaque espèce a été utilisée par lot. Nous avons placé un seul individu par cagette d'élevage afin d'éviter, en particulier lors des mues larvaires, l'alimentation aux dépens des congénères qui est fréquente chez les *Miridae*. La mortalité des *Adelphocoris* a été supérieure à celle des *Lygus* (tabl. 1). Si la mort de l'Insecte intervient durant le temps de présence sur le végétal, la répétition concernée n'est pas incluse dans le résultat final.

TABLEAU I

Mortalité des Insectes lors des expériences

Stades d'inflorescence	Espèce d'Insecte *L. r.* = *L. rugulipennis* *A. l.* = *A. lineolatus*	Stade (Ad. : adulte, la. : larve) et effectif, entre parenthèses, des insectes élevés	Pourcentage d'individus morts lors du retrait des insectes
I à III	*L. r.*	Ad. (28) la. (28)	14 9
	A. l.	Ad. (30) la. (30)	25 31
V	*L. r.*	Ad. (30) la. (30)	3 4
	A. l.	Ad. (27) la. (27)	24 9
VI à VIII	*L. r.* *A. l.*	Ad. (25) Ad. (24)	12 55

B. — *Les cagettes d'élevage*

Ce sont celles décrites dans une note technique précédente (BOURNOVILLE, CANTOT, 1974). Le dispositif mis au point permet de placer l'enceinte d'élevage selon la hauteur du végétal.

C. — *Les plantes*

Nous avons employé 3 clones de Luzerne pour ces tests. L'utilisation de végétaux de génome différent laisserait penser qu'une variation provenant du végétal est introduite. Sans écarter totalement une telle éventualité, nous dirons que des travaux sur la résistance des luzernes à la chute d'organes floraux occasionnée par les *Lygus*, révèlent que ce type de résistance est dû au comportement de l'Insecte (= « preference »), et ne s'exprime pas en conditions contrôlées d'élevage (MELTON *et al.*, 1971).

Ces plantes ont été infestées à un stade bien précis. Nous avons adopté les stades repères de STREBLER (1968), de NAIBO (1972) et de d'AGUILAR et PERRIER (1974). Nous citons ci-dessous les caractères essentiels de ces stades d'inflorescence :

Stade I : Inflorescence compacte, que les stipules entourent et dépassent.

Stade II : L'inflorescence, de moins de 1 cm, prend une forme conique ; elle se dégage des stipules qui atteignent tout de même son niveau.

Stade III : L'inflorescence possède des fleurs dégagées. Les fleurs de la base ont leur corolle qui s'insère entre la base des pointes libres du calice, mais sans les dépasser.

Stade IV : L'inflorescence est une grappe allongée, les fleurs de sa base laissent dépasser de leur calice la corolle non déployée.

Stade V : L'inflorescence possède à sa base des fleurs typiques de papilionacées dont l'étendard est largement déployé.

Stade VI : L'inflorescence a des fleurs nettement séparées les unes des autres. Les fleurs de la base, fécondées, se fanent ; les pétales qui retombent laissent dépasser la jeune gousse légèrement arquée qui se forme.

Stade VII : L'inflorescence comporte des gousses vertes en voie de formation ; celles de la base sont spiralées de façon lâche.

Stade VIII : L'inflorescence présente des gousses vertes .Seules celles de la base sont spiralées de façon serrée et gonflées par les graines.

Stade VIII *bis* : Toute l'inflorescence comporte des gousses vertes spiralées avec des renflements apparents au niveau de chaque graine.

Stade IX : Toutes les gousses de l'inflorescence sont brunes.

D. — *Conditions expérimentales*

Toute l'étude a été menée en chambre de culture. La température des pièces est de 21°C $\pm$ 1, la photopériode de 16 heures et l'humidité relative de 50 à 60 p. 100. L'éclairement, au niveau des rampes lumineuses est de 15 000 lux, ce qui permet l'évolution florale de la Luzerne. Nous avons évalué l'action des punaises sur les boutons floraux (stade I à III), sur les fleurs aptes à la fécondation (stade V) et sur les jeunes gousses (stades VI à VIII). Le nombre d'inflorescences offertes par Insecte, les durées de maintien des punaises sur le végétal, et les délais pour l'observation des dégâts sont résumés dans le tableau 2. Les variations entre les différents traitements tiennent compte des observations suivantes :

1° pour le stade « bouton », il convient d'éviter l'évolution vers la floraison lors de l'infestation par les punaises ;

2° pour le stade « fleur », il faut empêcher l'abscission naturelle de l'organe floral. Pour cela, nous avons disposé les inflorescences dans les cagettes alors qu'elles étaient encore aux stades III et IV ; les fleurs sont alors peu séparées et ne souffrent pas de la manipulation. Cependant, si après le test, on conserve trop longtemps l'inflorescence dans la cagette, la chute naturelle des fleurs risque de se produire par défaut de pollinisation ;

3° pour le stade « gousse », il est bon d'attendre une relative maturité, puisque nous avons examiné l'état des graines dans les gousses. Nous avons donc prélevé ces dernières alors que dans les lots témoins, les grappes fructifères avaient atteint pour moitié le stade IX (gousse brune).

Le nombre d'organes floraux ou fructifères offerts par Insecte a surtout été imposé par le volume de la cagette. Ainsi, les effectifs de boutons floraux sont relativement élevés en raison de leur petite taille, d'autant que le bouton terminal fait partie de cette catégorie.

TABLEAU 2

Conditions expérimentales de l'action des punaises

Stades d'inflorescence	Nombre d'inflorescences par Insecte	Durée d'action des punaises (jours)	Délai écoulé depuis l'infestation, lors de l'observation des dégâts (jours)
I à III	3,7	2	6
V	1,0	1	4
VI à VIII	2,2	3	16

III. — RÉSULTATS

A. — *Action des deux punaises sur les stades I à III*

Sur ces stades correspondant à la formation des bourgeons, l'action typique des *Miridae* consiste en un dessèchement du bouton qui blanchit (fig. 1). Dans les conditions de nos expériences, nous avons choisi d'exprimer ce flétrissement en 1/4, 1/2, 3/4 ou totalité de l'inflorescence atteinte. Dans les figures 2 et 3, la mention des stades IV et V ne doit pas surprendre, car durant les six jours d'expérience, la Luzerne a poursuivi son évolution et les stades les plus évolués à la fin de l'essai correspondent aux stades III initiaux. La comparaison des figures 2 *b* et *c* montre que des larves âgées (L3 à L5) d'*A. lineolatus* occasionnent davantage de dégâts sur les jeunes boutons que sur les stades évolués par rapport aux dégâts effectués par les adultes. Chez *L. rugulipennis* (fig. 3 *b* et *c*), l'action des larves âgées (L4 à L5) et des adultes est comparable. La piqûre des punaises se traduisant par un avortement des bourgeons, nous avons cherché à caractériser un éventuel retard végétatif de la plante. Pour cela, nous avons défini l'état initial et l'état final du végétal dans chaque cagette d'élevage par un indice obtenu de la façon suivante. On donne la valeur 0 au bouton terminal, la valeur 1 au stade floral I, la valeur 2 au stade floral II, etc. Si un brin présente 2 inflorescences d'un même stade, on lui attribue 1/2 point en plus : s'il lui manque un stade, on retranche 1/2 point. En additionnant toutes ces valeurs, nous avons obtenu un nombre caractérisant le brin contenu dans la cagette. Ce mode de notation nous a permis de souligner l'homogénéité des brins dans les divers lots (tabl. 3). Nous avons analysé les différences d'indice obtenu en début et fin d'expérience avec l'analyse de variance. Dans les 2 cas, nous avons obtenu un résultat non significatif (tabl. 4). Cela ne veut pas dire qu'une plus longue action des *Miridae* n'aurait pas occasionné de retards végétatifs, mais dans les conditions de nos expériences, cela n'a pas été établi.

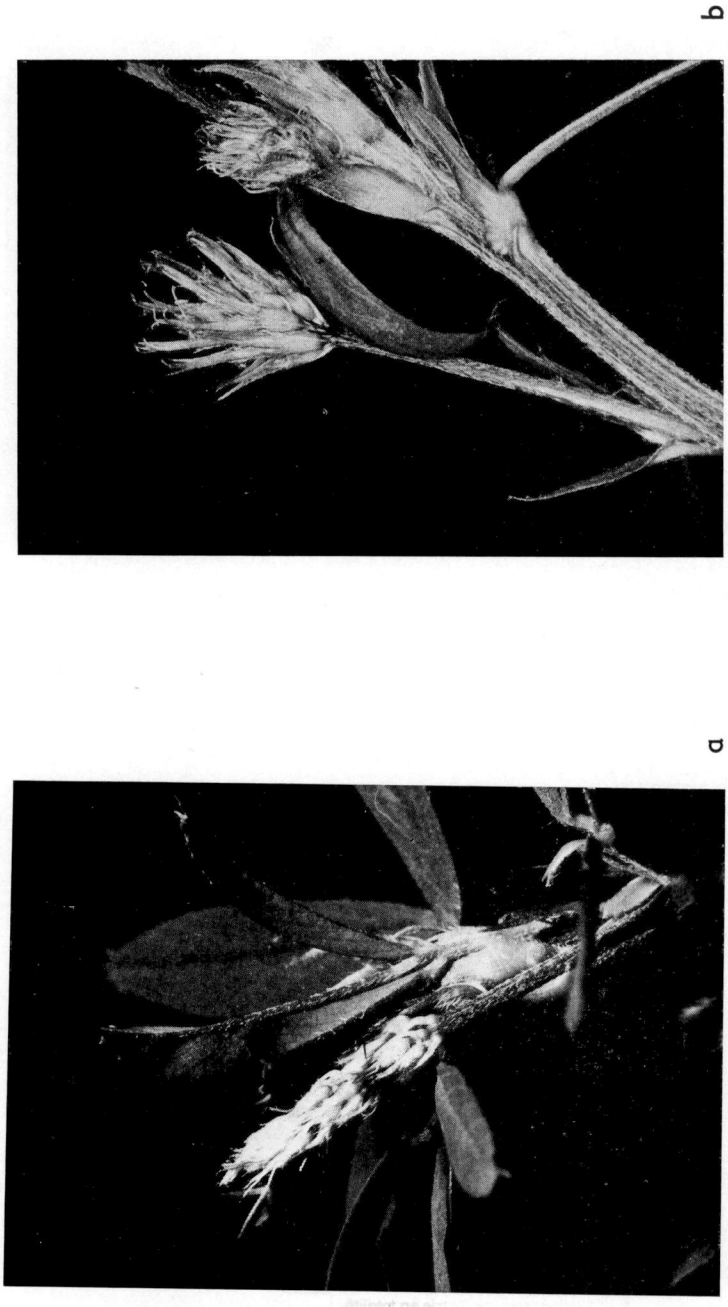


FIG. 1

a) *Flétrissement des boutons de luzerne produit par l'action de* L. rugulipennis
b) *Lot témoin, dans lequel l'inflorescence a normalement évolué*

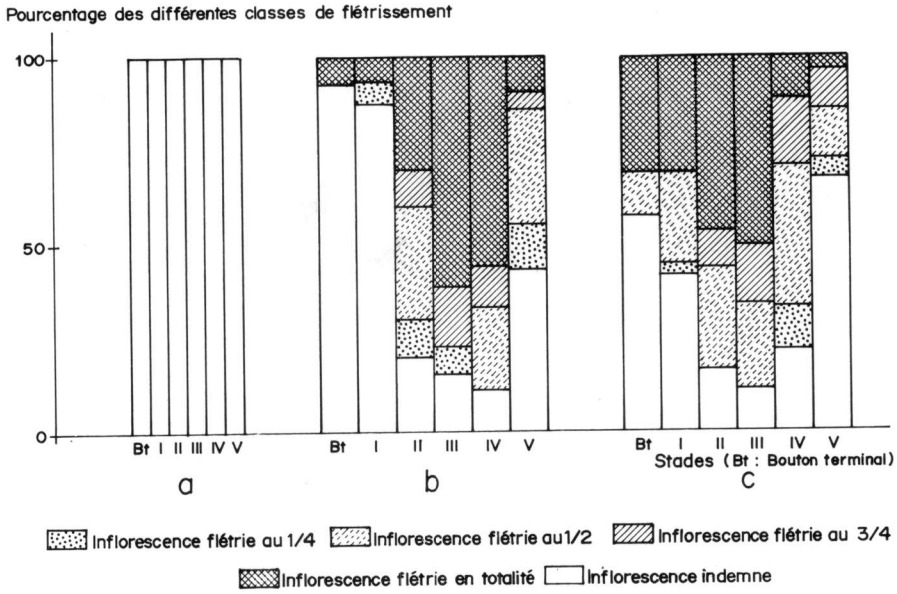


FIG. 2. — *Action d'*A. lineolatus *sur les stades I à III de la Luzerne*

a) Lot témoin
b) Lot infesté par des adultes
c) Lot infesté par des larves

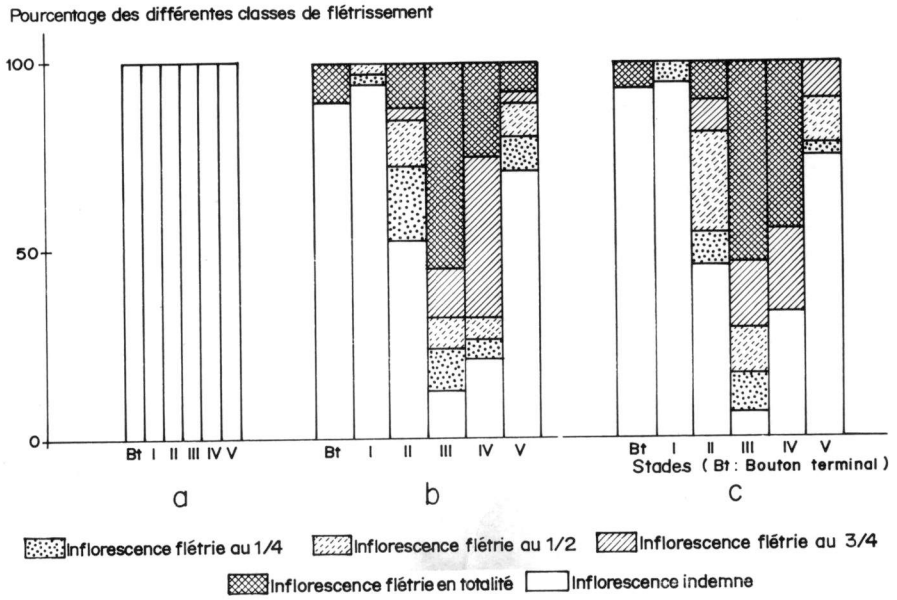


FIG. 3. — *Action de* L. rugulipennis *sur les stades I à III de la luzerne*

a) Lot témoin
b) Lot infesté par des adultes
c) Lot infesté par des larvès

TABLEAU 3

Indices moyens caractérisant les tiges contenues dans les cagettes d'élevage lors de l'action des Miridae *sur stades I à III*

		Lots					
		Lygus		Témoin	*Adelphocoris*		Témoin
		adulte	larve		adulte	larve	
Indices moyens	Début d'expérience	3,25	3,23	3,19	2,88	3,12	3,0
	Fin d'expérience	5,25	5,06	5,25	5,15	5,18	5,33

TABLEAU 4

Tableau d'analyse de variance des différences d'indices caractérisant les tiges lors de l'action des Miridae *sur stades I à III*

Origine de la variation	Somme des carrés des écarts	Nombre de degrés de liberté	Variance	F calculé	F théorique 5 p. 100	Résultat
a) *Cas d'*A. lineolatus						
entre traitements	1,05	2	0,525	0,754	3,23	NS
résiduelle	28,56	41	0,696			
totale	29,61	43				
b) *Cas de* L. rugulipennis						
entre traitements	0,37	2	0,185	0,51	3,20	NS
résiduelle	17,3	48	0,36			
totale	17,67	50				

TABLEAU 5

Action des Miridae *sur des inflorescences de Luzerne au stade V*

	Lots					
	Infestés avec *A. lineolatus*		Témoin	Infestés avec *L. rugulipennis*		Témoin
	adulte	larve		adulte	larve	
Pourcentage de fleurs tombées et fanées	65,1	61,4	26,4	10,7	6,9	1,3
Pourcentage de fleurs indemnes	34,9	38,6	73,6	89,3	93,1	98,7
Test de χ^2	——ths——			——ths——		
	——ths——			——ths——		

B. — *Action des* Miridae *sur le stade V*

Les deux punaises, tant au stade larvaire qu'au stade adulte, font flétrir et tomber les fleurs. L'action des *Adelphocoris* est plus marquée, mais la différence entre les lots ayant subi celle des *Lygus* et le témoin est encore très significative (tabl. 5). On remarque qu'un pourcentage relativement important de fleurs est tombé dans le témoin relatif à l'expérience « *Adelphocoris* », ceci malgré les précautions prises.

C. — *Action d'*A. lineolatus *et de* L. rugulipennis *sur les stades VI à VIII*

Sur ces stades de jeunes gousses, nous distinguerons deux types de dégâts : d'une part, un dessèchement du jeune organe fructifère qui tombe (tabl. 6 *a*), d'autre part des malformations des graines à l'intérieur des gousses (tabl. 6 *b*). Cette action différente doit provenir du stade d'évolution de la jeune gousse et, vraisemblablement, du niveau de la piqûre. Lorsque cette dernière est basale, sur le jeune organe fructifère, elle doit provoquer plus facilement un flétrissement que lorsqu'elle est apicale. Dans ce dernier cas, ce sont probablement les graines qui souffrent de l'attaque, mais le pédoncule n'ayant pas été atteint, la gousse reste attachée à la tige.

TABLEAU 6

Action des Miridae *sur des inflorescences de Luzerne aux stades VI à VIII*

	Lots		
	Infestés avec *A. lineolatus* adultes	Infestés avec *L. rugulipennis* adultes	Témoin
a) *Chute de gousses*			
Pourcentage de gousses tombées et fanées	29,2	33,7	1,0
Pourcentage de gousses indemnes	70,8	66,3	99,0
Test de χ^2	ths	ths	
b) *Malformation de graines*			
Pourcentage de graines			
– saines	68,6	60,9	93,9
– vidées	26,2	36,7	4,2
– ridées	4,2	0,8	1,1
– plates	1,0	1,6	0,8
Test de χ^2	ths	ths	

Au sujet de l'état des graines, nous avons distingué les catégories suivantes, en plus des graines saines :

— des graines « vidées » (fig. 4), dont le contenu a été totalement absorbé ; ces graines extrêmement légères sont parfois adhérentes à la gousse ;

— des graines « ridées », dont l'enveloppe est déformée et plissée. Il s'agit, là encore, de graines plus légères que les graines saines. Ces symptômes n'ont rien à voir avec certaines déformations anguleuses provenant de la résistance des parois de la gousse lors de la maturation des graines ;

— des graines « plates » ; celles-ci ont une surface comparable aux graines saines mais elles sont aplaties.

FIG. 4. — *Malformation des graines de Luzerne occasionnée par* A. lineolatus
Entourant une rangée de graines saines, on voit deux rangées de graines vidées

Soulignons que le témoin, qui n'a pas été soumis à l'action des *Miridae*, comporte de faibles pourcentages de ces diverses catégories, ce qui implique que d'autres causes, d'origine non parasitaire, interviennent dans les malformations des graines.

IV. — DISCUSSION ET CONCLUSIONS

A. — *Rôle des* Miridae *dans les phénomènes de « coulure » des organes floraux de la Luzerne et de malformation des graines dans les gousses*

Les résultats précédents, qui ont été acquis en conditions contrôlées, permettent de préciser la nuisibilité des espèces rencontrées en France. De trop nombreuses études, déjà anciennes il est vrai, sur les *Miridae* phytophages de la Luzerne, ont été accomplies au champ. Or, dans les conditions extérieures, les causes de chute d'organes reproducteurs ne manquent pas. Nous citerons en particulier les déficits hydriques des luzernières qui peuvent, dans des rapports importants, augmenter

la coulure des bourgeons, fleurs et jeunes gousses de Luzerne. Remarquons d'ailleurs qu'au niveau de la production, les divers facteurs agissant sur la coulure, loin d'être exclusifs, sont cumulatifs. Ainsi, SEDIVY (1972) a déjà fait remarquer qu'une luzernière souffrant d'un manque d'alimentation en eau a plus de difficultés à supporter l'action des *Miridae*. Les modes et conditions de culture variant selon les pays, peut-être est-il possible de voir dans les différences de réaction du végétal (qui peut être irrigué ou non par exemple) une des causes importantes de la variation des seuils d'intervention contre les *Lygus*. Cette prise en considération de la réaction de la plante est une notion importante en lutte intégrée comme l'ont montré les travaux relatifs à la nuisibilité de *L. hesperus* sur Cotonnier (FALCON *et al.*, 1971).

On peut de plus être surpris des divers aspects de la nuisibilité des *Miridae* envers la Luzerne. En particulier, sur les stades de gousses, il est probable que nous aurions obtenu davantage de graines ridées si nous avions utilisé des gousses un peu plus proches de la maturité. Le symptôme « graine ridée » est en effet celui retenu par les auteurs nord-américains au sujet de l'action des *Lygus* (APP, MANGLITZ, 1972). Il convient donc bien dans ce type d'étude d'être le plus précis possible quant au stade de l'organe infecté.

B. — *Type d'action des* Miridae *le plus dommageable à la culture*

Il est évident que selon l'intensité et la durée de l'infestation par les punaises, la culture peut, à tous les stades phénologiques étudiés, subir des pertes importantes. Nous avons eu ainsi l'occasion de constater un empêchement complet de la floraison dû à *A. lineolatus*, à l'Hermenault (Vendée) en 1973. Des relevés préliminaires effectués en 1972, nous avaient prouvé que le cycle des deux espèces de *Miridae* était, en Poitou, en coïncidence avec tous les stades floraux et fructifères de parcelles précoupées. On sait que la pratique de la précoupe décale la date de floraison et de maturation d'environ 3 semaines. Elle permet d'éviter les phénomènes de verse, mais en groupant la floraison, elle ne facilite pas toujours la coïncidence avec les populations d'Insectes pollinisateurs (TASEI, 1971). Nous avons donc cherché à connaître en 1973 les niveaux d'infestation de 2 parcelles d'environ 1 000 m² chacune, la première non précoupée et la seconde précoupée.

La phénologie du végétal a été relevée en notant les stades des secondes inflorescences formées sur 25 tiges principales. Nous précisons ainsi le point de départ de chaque stade, la notation du nombre d'entre-nœuds florifères formés servant à indiquer la durée des divers stades (BOURNOVILLE, à paraître). Les graphiques ainsi tracés (fig. 5), montrent que l'évolution florale d'une Luzerne précoupée est bien plus groupée que celle d'une parcelle non précoupée. Les populations de *L. rugulipennis* et d'*A. lineolatus* ont, pour leur part, été capturées au filet-fauchoir. Les effectifs rapportés sur les graphiques (fig. 5) ont été recueillis en 25 coups de filet. Les divers stades larvaires ont été déterminés (fig. 6). La comparaison des figures 5 et 6 montre que :

1° L'accroissement de l'effectif des populations de *Miridae* à la mi-juin intervient alors que le bourgeonnement et une bonne partie de la floraison sont déjà achevés sur la parcelle non précoupée, alors qu'ils débutent sur la parcelle précoupée.

2° Les nouvelles générations des deux espèces de *Miridae* s'effectuent sur la Luzerne, au début d'août.

3° L'effectif total des *Miridae* est beaucoup plus élevé pendant la phase florale et fructifère sur la parcelle précoupée (472 punaises) que sur la parcelle non précoupée (354 punaises). Cependant, ce sont les *Adelphocoris* qui constituent la majeure partie de la différence.

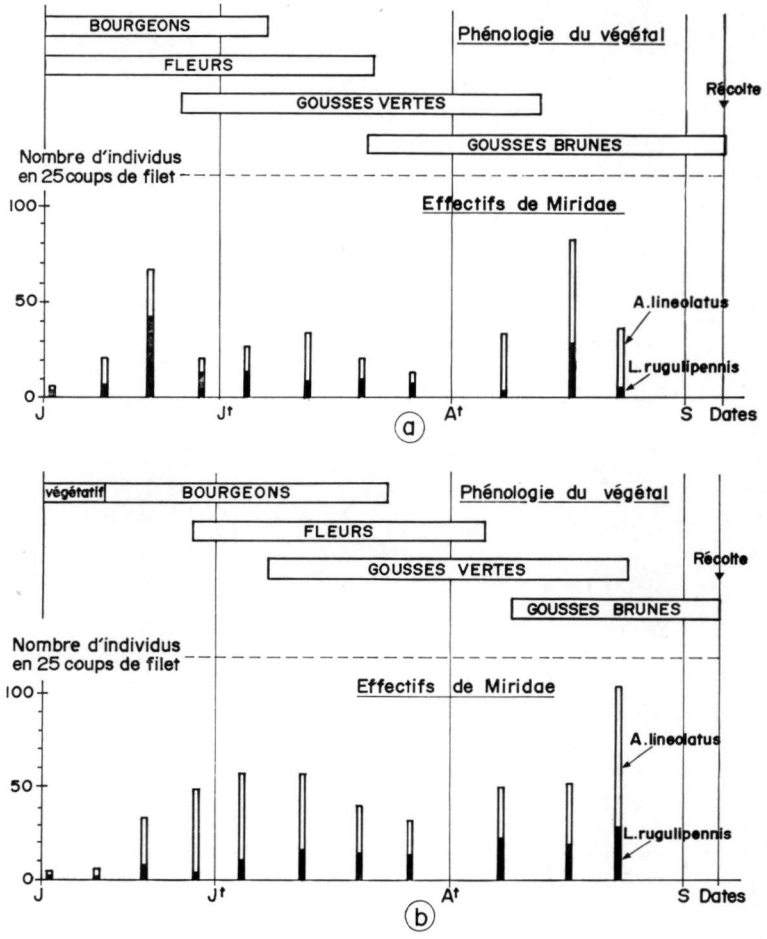


FIG. 5. — *Évolution du végétal et des populations de punaises* Miridae *dans des parcelles de Luzerne porte-graines* (Lusignan, 1973)

a) Parcelle non précoupée
b) Parcelle précoupée

BENEDEK *et al.* (1970) ont analysé, en Hongrie, les fluctuations des populations des deux punaises et insistent sur le fait qu'il y a une décroissance de leurs populations en juillet, ceci indépendamment de la phénologie. Dans nos conditions, il semble que la précoupe favorise le maintien d'*A. lineolatus*. SEDIVY (1972 *b*) pour sa part, a souligné le rôle des récoltes de cultures annuelles dans les migrations tardives de *L. rugulipennis*. Les fluctuations observées en 1973 dans nos relevés semblent s'expliquer par l'apparition des nouvelles générations, mais la migration à partir d'autres

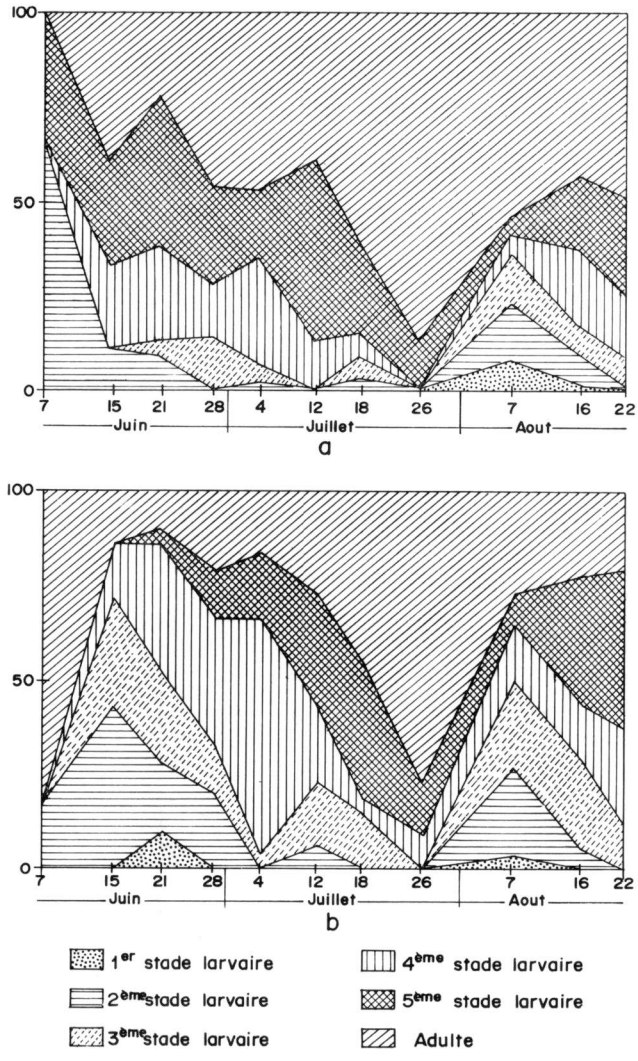


FIG. 6. — *Répartition, en pourcentage, des divers stades de punaises* Miridae (Lusignan, 1973) *sur l'ensemble des deux parcelles* (précoupée et non précoupée)

a) *A. lineolatus*
b) *L. rugulipennis*

champs, de *L. rugulipennis*, moins inféodé à la Luzerne qu'*A. lineolatus*, est une possibilité.

En conclusion, il apparaît que les deux espèces de *Miridae* interviennent dans les problèmes complexes de « coulure » de boutons et de fleurs et de malformation de graines. Il convient dans tous les cas où ces symptômes sont observés, de s'attacher à évaluer les populations de punaises car elles peuvent être à l'origine des dommages. Comme de plus d'autres facteurs peuvent occasionner ces dégâts, la surveillance de l'effectif d'*A. lineolatus* et de *L. rugulipennis* est une obligation essentielle. Une culture

précoupée risque de subir des attaques précoces qui peuvent entraver la floraison. Remarquons tout de même que dans les zones infestées par la Cécidomyie des fleurs, la pratique des interventions phytosanitaires peut limiter ce risque. En revanche, la chute des fleurs fécondées et des jeunes gousses, ainsi que la malformation des graines dans les gousses, peuvent se produire tant sur parcelle précoupée que non précoupée. C'est actuellement contre ces attaques tardives que l'on est le plus démuni, car les cultures ne sont plus protégées, le dernier traitement datant d'environ trois semaines. Notre travail s'oriente donc vers la protection contre ce type de dégâts des Mirides et vers la définition de seuils d'intervention.

Reçu pour publication en janvier 1975.

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement M. P. GUY, de la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan, pour les nombreux conseils qu'il nous a aimablement fournis dans l'interprétation des résultats, en particulier pour la définition de l'indice caractérisant le retard végétatif des plantes. M. HOUILLIER a eu l'amabilité de nous transmettre plusieurs documents bibliographiques sur les *Miridae*.

SUMMARY

RELATIONSHIP BETWEEN THE MIRID BUGS INFESTING SEED-ORIENTED LUCERNE AND PHENOLOGY OF THE PLANT

Adelphocoris lineolatus GOETZE and *Lygus rugulipennis* POPP. have been reared on the definite phenological stages of lucerne under controlled conditions. Feeding of these bugs provokes the drying and dropping of floral and fruiting parts as well as the malformations of grains inside the pods. One has to make an effort in these experiments in order to avoid other causes of degradation of flower buds, flowers and pods. The population countings of these insects in field permit to precice the coincidence of life cycle of the pest and that of plant. The « pre-harvested » lucerne fields can be infested during flowering and seed formation periods ; whereas in the « non pre-harvested » fields, it is essentially the seed formation which risks to be disordered.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

d'AGUILAR J., PERRIER D., 1973. Morphologie et biologie comparées de deux espèces de *Tychius* (Col. *Curculionidae*) dans les luzernières du Lauragais. *Ann. Zool.-Écol. anim.*, **5**, 483-489.

APP B. A., MANGLITZ G. R., 1972. In HANSON C. H., *Alfalfa science and technology*, 527-554, American Society of Agronomy, Madison.

BECH R., 1969. Untersuchungen zur Systematik, Biologie und Okologie wirtschaftlichwichtiger *Lygus*-Arten. *Beitr. Ent.*, **19**, 63-103.

BENEDEK *et al.*, 1970. Seasonal activity of heteropterous species injurious to lucerne and its relations to the integrated pest control of lucerne grown for seed. *Acta phytopath. Acad. Sci. Hung.*, **5**, 81-93.

BONESS M., 1963. Biologische ökologische Untersuchungen an *Exolygus* WAGNER (*Heteroptera : Miridae*). *Z. Wiss. Zool.*, **168**, 376-420.

BOURNOVILLE R., CANTOT P., 1974. Matériel utilisé pour l'élevage d'insectes sur la Luzerne. *Ann. Zool.-Écol. anim.*, **6**, 333-336.

FALCON L. A. *et al.*, 1971. Investigation of the pest status of *Lygus hesperus* in cotton in central California. *J. econ. Entomol.*, **64**, 56-61.

GOTTWALD R., ROHR C., 1973. Heteroptera in alfalfa seed growing. *Nachrichtenbl. Pflanzenschutzdienst*, DDR, **27**, 117-122.

KOLOBOVA A. N., 1953. Les variations de population de la punaise de la Luzerne, *Adelphocoris lineolatus* (GOEZE) en relation avec les conditions météorologiques (en russe). *Zool. Zh.*, **32**, 449-456.

MELTON B. *et al.*, 1971. Breeding for lygus resistance in alfalfa. *N. M. Agric. exp. Stn., Res. Rep.*, **197**, 9 p.

NAIBO B., 1972. *Étude du cycle biologique et du fonctionnement des appareils reproducteurs de* Tychius aureolus KIESW., *coléoptère* Curculionidae *infestant la Luzerne porte-graine* Medicago sativa *L.* Thèse doctorat spécialité, Fac. Sc. Toulouse, 109 p.

POPOVA V., 1966. Studies on Heteroptera in lucerne biocenosis in Plovdiv area. *Rastenieved. Nauki*, **3**, 49-57.

POUTSHKOV V. G., 1966. Les principaux *Miridae* nuisibles aux cultures (en russe). Académie des Sciences d'Ukraine, Kiev, 172 p.

RAUTAPAA J., 1969. Effect of *Lygus rugulipennis* POPP. (Het., *Capsidae*) on yield and quality of wheat *Ann. entomol. Fenn.*, **35**, 168-175.

ROMANKOW W., 1959 *a*. The results of the observations on the specific composition of *Lygus* spp. *Heteroptera, Miridae*, on alfalfa fields in lower Silesia (Poland). *Biul. Inst. Ochr. Rosl.*, **4**, 25-34.

ROMANKOW W., 1959 *b*. The results of studies on the biology of *Adelphocoris lineolatus* GOEZE (*Heteroptera, Miridae*), with reference to certain problems of its ecology. *Pol. Pismo entomol.*, **29**, 55-104.

SEDIVY J., 1972 *a*. Die Schädlichkeit der Wanze *Lygus rugulipennis* POPP. an Samenluzerne. *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, **79**, 407-412.

SEDIVY J., 1972 *b*. The seasonal dynamics of the bugs *Lygus rugulipennis* POPP. and *Adelphocoris lineolatus* GOETZE on lucerne. *Ved. Pr. Vyzk. Ustavu Rostl. Vyroby Praze-Ruzyni*, **17**, 163-171.

SORENSON C. J., CUTLER L., 1954. The superb plant bug, *Adelphocoris superbus*. *Utah agric. Exp. Stn, Bull.*, **370**, 20 p.

STEWART R. K., 1969. The biology of *Lygus rugulipennis* POPPIUS (*Hemiptera : Miridae*) in Scotland. *Trans. R. ent. Soc. Lond.*, **120**, 437-453.

STREBLER G., 1968. *Étude d'un Itonidide cécidogène* (*Contarinia medicaginis* KIEFFER) *et de son hôte*. Thèse doctorat es Sciences Naturelles, Fac. Sc. Orsay, 135 p.

TASEI J. N., 1971. Influence de la date de la précoupe de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur sa pollinisation. *Apidologie*, **2**, 173-195.

VARIS A. L., 1959. Einige wanzen der gruppe *Lygus pratensis* L. (Hem., *Miridae*) als Schälinge von Zucker-rübe. *Publ. Finn. State Agric. Res. Board*, **178**, 132-138.

VARIS A. L., 1972. The biology of *Lygus rugulipennis* POPP. (Het., *Miridae*), and the damage caused by this species to sugar beet. *Ann. agric. fenn.*, **11** (1), 5-56.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 211-226.

ESSAIS D'UTILISATION DE L'ACARIEN PRÉDATEUR *PHYTOSEIULUS PERSIMILIS* CONTRE LES TÉTRANYQUES SUR DIVERSES CULTURES FLORALES ET MARAÎCHÈRES EN SERRE

Madeleine PRALAVORIO, P. JOURDHEUIL et P. MILLOT

Station de Zoologie et de Lutte biologique,
Centre de Recherches, I. N. R. A.,
06602 Antibes

RÉSUMÉ

Phytoseiulus persimilis est apparu comme l'un des meilleurs auxiliaires dans la lutte biologique contre les Tétranyques sur diverses cultures et notamment en serre de concombres en Europe septentrionale, mais son emploi en France surtout dans le midi méditerranéen, demande des adaptations.

Des essais ont été réalisés en serre, dans la région d'Antibes sur Rosier, Fraisier et Aubergine. La multiplication des populations du ravageur a été arrêtée 15 jours après l'introduction du *Phytoseiulus* et son élimination a été obtenue au bout de quatre à six semaines sur fraisier et aubergine. Dans le cas du rosier, les résultats n'ont été satisfaisants qu'en l'absence de vapeurs de soufre.

Il sera nécessaire de préciser les seuils de tolérance économique, la proportion optimale prédateur/ravageur et l'influence des pesticides avant que cette méthode efficace puisse être répandue auprès des horticulteurs. Toutefois, une assistance technique sera toujours nécessaire pour sa mise en application.

Du fait de conditions écologiques particulières, les cultures sous serre sont extrêmement favorables à une multiplication rapide et quasi permanente de divers arthropodes polyphages au premier rang desquels se situent des Acariens *Tetranychidae*, notamment *Tetranychus urticae* KOCH. et plus secondairement *T. cinnabarinus* BOISD. Le recours à des traitements acaricides d'assurance y pose de nombreux problèmes du fait de l'exacerbation des inconvénients liée à l'utilisation des pesticides : apparition de lignées résistantes (COULON, communication personnelle), accidents phytotoxiques, souillures du feuillage dans les cultures florales, impossibilité d'intervention en période de récolte dans les cultures légumières. C'est pourquoi depuis une décennie, divers pays s'efforcent de mettre au point d'autres méthodes de prévention et de protection et font notamment appel à la lutte biologique.

Parmi les ennemis naturels des Tetranyques, l'Acarien prédateur *Phytoseiulus*

persimilis ATHIAS HENRIOT présente des caractéristiques très favorables à son utilisation en serre : son développement plus rapide que celui des Tetranyques (BEGLIAROV, 1967) peut avoir lieu dans une large gamme de températures (DOSSE, 1958) ; le taux intrinsèque d'accroissement du prédateur (0,219 individus par jour et par femelle) est nettement plus élevé que celui de sa proie (0,143) à une température moyenne de 20°3 (LAING, 1968-1969). Par ailleurs, il est doué d'une excellente efficacité prédatrice vis-à-vis de tous les stades des Tetranyques.

Les premières tentatives d'utilisation de *P. persimilis* en serre ont été effectuées en Hollande sur Pêchers (BRAVENBOER et DOSSE, 1962) ainsi qu'au Canada sur Haricot nain (CHANT, 1961) mais rapidement, devant l'intérêt de la méthode, ces essais se sont étendus à d'autres cultures notamment celle du Concombre, production particulièrement importante en Europe septentrionale. Les résultats furent suffisamment satisfaisants pour que les applications se généralisent sur cette production en Hollande (BRAVENBOER, 1967), en Angleterre (GOULD, HUSSEY et PARR, 1967), en Suisse (VOGEL, 1965), en Autriche (BOHM, 1966), en U. R. S. S. (BEGLIAROV, 1967) et que soit même envisagé et mis au point une commercialisation de ces agents dans certains de ces pays (Suisse, Hollande, Angleterre).

En France, une transposition directe de ces résultats à la pratique a été tentée (REDLICH et DUBOIS, 1970) mais n'a pas eu de suite. En fait, notamment dans les régions méridionales de notre pays, les conditions d'application d'une telle méthode sont radicalement différentes de celles des régions septentrionales de l'Europe, d'une part en raison des particularités climatiques qui sont susceptibles de modifier l'époque et les modalités de pullulations des ravageurs et de leurs antagonistes, d'autre part en raison de la diversification des productions ; celle du concombre est, en fait, peu développée mais plusieurs autres cultures importantes posent de sérieux problèmes de protection contre les Tetranyques, en particulier, en serre de Rosier, d'Aubergine et de Fraisier.

I. — ESSAI EN SERRE DE ROSIER

Les problèmes posés par les Tétranyques en serre de Rosier acquièrent, chaque année, plus d'importance. Cela semble dû à plusieurs faits : tout d'abord, dans le midi méditerranéen, les pullulations d'acariens peuvent apparaître toute l'année en serre chauffée et les attaques risquent de compromettre des récoltes mêmes hivernales. Par ailleurs la fréquence de ces dégâts amène les horticulteurs à traiter leurs serres avant même, les premiers signes d'existence d'une population et cette habitude entraîne un développement accéléré de la résistance de ces ravageurs vis-à-vis de divers acaricides (DEPORTES, 1969) ; c'est ce dernier facteur qui nous a amené à tester l'action de *P. persimilis* en serre de Rosier.

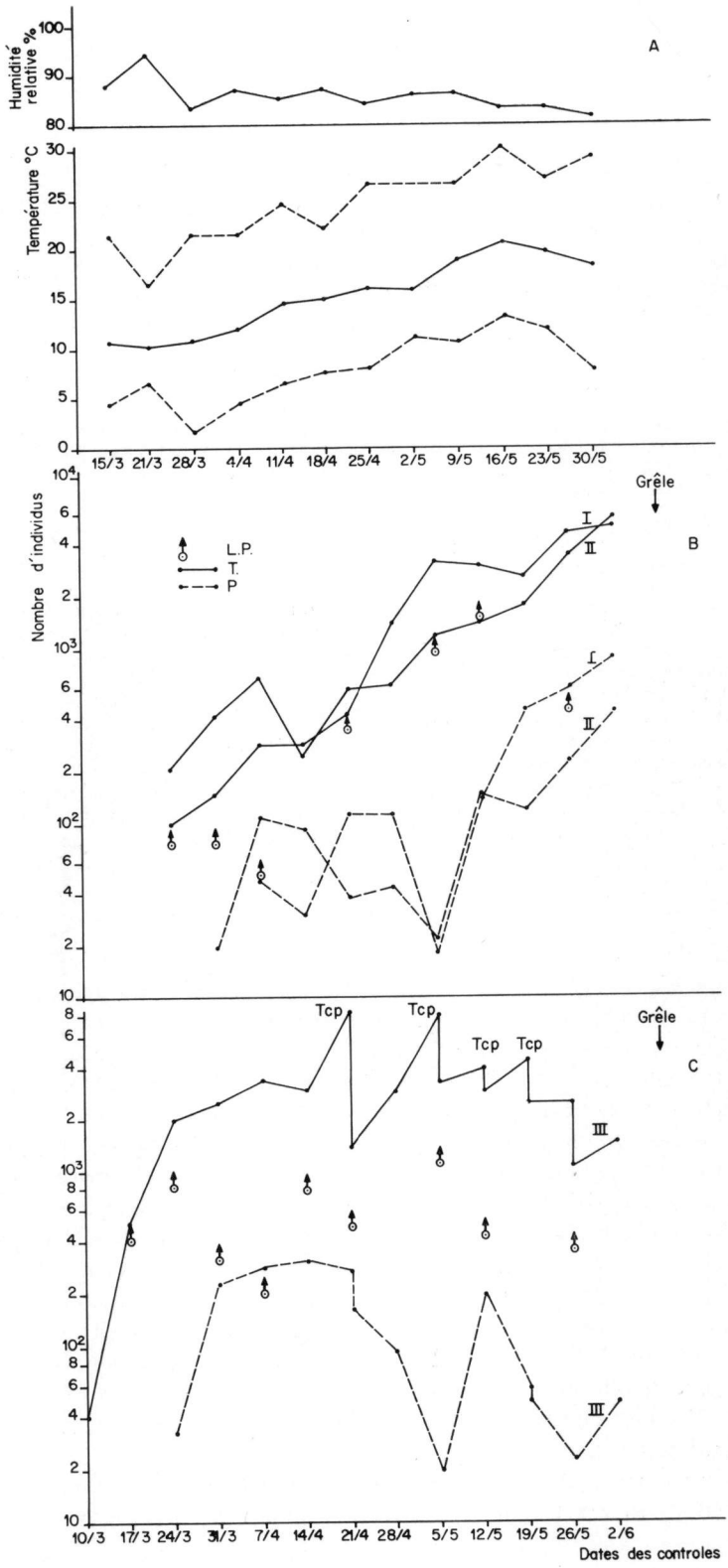
→

FIG. 1. — *Rosiers :* Étude de populations dans une serre de « Lara »

A : Moyenne des températures (relevées toutes les 2 heures) et des maxima et minima hebdomadaires. Moyenne des relevés d'hygrométrie relative.

B : Évolution des populations (adultes) de *Tetranychus urticae* (T) et de *Phytoseiulus persimilis* (P) dans la partie haute (I) et moyenne (II) de la serre.

C : Évolution des populations (adultes) dans la partie basse de la serre (III).
(L. P. : lâcher de *Phytoseiulus* ; Tcp : Traitement chimique partiel).


Humidité relative %
100
90
80
A
Température °C
30
25
20
15
10
5
0
15/3 21/3 28/3 4/4 11/4 18/4 25/4 2/5 9/5 16/5 23/5 30/5
Nombre d'individus
Grêle
L.P.
T.
P
B
I
II
I
II
Tcp
Tcp
Tcp
Tcp
Grêle
C
III
III
10/3 17/3 24/3 31/3 7/4 14/4 21/4 28/4 5/5 12/5 19/5 26/5 2/6
Dates des controles

Matériel et méthode

Les essais ont eu lieu pour une part dans une demi-serre de 350 m², du service de vulgarisation florale de la chambre d'agriculture des Alpes-Maritimes, plantée en 1970 de 8 doubles rangées de rosiers de la variété « Lara ». Des compléments d'études ont été effectués d'autre part dans un petit compartiment de serre de 24 m².

Dans la serre de 350 m², la méthode utilisée a consisté tout d'abord à déceler par un examen hebdomadaire, l'apparition des foyers de Tétranyques dans les différentes parties de la serre puis à suivre leur développement. L'importance de chaque foyer était notée d'après le comptage des folioles attaquées qui étaient classées en deux catégories :

— foliole portant de 1 à 5 Tétranyques adultes (*a*)
— — — de 6 à 25 — — (*a'*).

Les foyers de Tétranyques sont apparus tout d'abord dans les parties les mieux éclairées et par là, les plus chaudes de la serre ; leur développement y a été relativement plus rapide, nous avons donc pour la clarté des résultats séparé fictivement la serre en trois parties dans le sens de la largeur perpendiculairement aux rangées :

— Partie I : mitoyenne du 2e compartiment ;
— Partie II : intermédiaire ;
— Partie III : bas de la serre orientée vers l'Est au soleil levant.

Les lâchers de *P. persimilis* ont commencé dès que les premières populations de ravageurs ont été décelées. Bien que, dès ce moment-là, la proportion des prédateurs ait été très élevée (entre 1/2 à 1/4 de la population de Tétranyques), le développement des *Phytoseiulus*, observé par dénombrement des adultes directement dans chaque foyer, n'a jamais été suffisant pour freiner la multiplication des Tétranyques. Les lâchers ont donc été renouvelés fréquemment sur les foyers ne contenant pas un nombre suffisant de prédateurs lors du contrôle hebdomadaire (fig. 1 B et 1 C). Il est intéressant de noter que les conditions climatiques, durant toute la première moitié de cette expérimentation, ont été défavorables à un développement rapide du ravageur ; en effet, à la suite d'un arrêt de végétation anormal durant l'hiver, cette partie de serre n'a pas été chauffée au cours du printemps (fig. 1 A). Par contre une hygrométrie relative élevée, favorable au prédateur, a été maintenue par des arrosages fréquents.

Résultats et discussions

L'orage de grêle qui a dévasté les serres d'Antibes au début du mois de juin 1971 ne nous a pas permis de conduire cette étude jusqu'à son terme mais nous a fourni néanmoins un certain nombre de renseignements utiles.

Les prédateurs ont été lâchés à plusieurs reprises dans des proportions importantes mais malgré cela, l'écart entre les populations des deux espèces est toujours resté considérable et sur les graphiques 1 B et 1 C on constate que le développement des Tétranyques semble avoir été à peine ralenti par les lâchers de prédateurs ; de fait, on enregistre une extension lente mais pratiquement constante des foyers dans les trois parties de la serre ce qui nous a obligé à effectuer d'assez nombreux traitements chimiques partiels dans les endroits les plus attaqués (Partie III).

Il semble donc acquis que les populations de *Phytoseiulus* n'ont pas eu une progression normale après le lâcher. Par ailleurs, dans certain cas, on a même constaté leur diminution brutale (observation du 5 mai) sans qu'un fait extérieur (traitement, modification des facteurs climatiques) intervienne apparemment. Ces phénomènes sont encore plus nets si on compare ces résultats avec ceux obtenus sur Aubergine et sur Fraisier, cultures sur lesquelles un seul lâcher de prédateur suffit pour obtenir l'éradication des Tétranyques.

Après un examen des conditions dans lesquelles se sont déroulées ce premier essai en serre de Rosier, il nous est apparu qu'un des facteurs présents dans la serre

et susceptible de jouer un rôle dans le développement anormal des Phytoseiides, pouvait être l'émission des vapeurs de soufre utilisées couramment en serre de Rosier en prévention de l'oïdium. Afin de vérifier cette hypothèse un nouvel essai de lutte biologique a été réalisé en absence de vapeurs de soufre et dans des conditions climatiques favorables dans un compartiment de 24 m² contenant 22 plants de la variété « Baccara » ; après infestation artificielle un lâcher a été effectué quand la population des phytophages atteignait un niveau moyen de 130 individus par pied, à raison de 1 *Phytoseiulus* pour 4 Tetranyques. Cinq semaines après, on avait obtenu une éradication des ravageurs (tabl. 1).

TABLEAU I

Conditions climatiques et évolution des populations de Tétranyques et de Phytoseiulus *dans le compartiment de Rosiers « Baccara »*

Conditions climatiques

Semaines	28-2/5-3	5/12-3	12/19-3	19/26-3	26-3/2-4	2-4/9-4	9/16-4	16/23-4	23/30-4
Maxima	27°	27°8	32°4	33°4	33°9	29°	25°4	24°4	28°1
Moyenne des températures	19°2	19°3	21°2	22°8	21°4	20°4	18°2	17°6	20°4
Minima	15°4	16°4	16°4	17°4	14°6	15°2	13°1	12°2	15°7

Populations dénombrées sur 20 plants de rosiers

Dates des contrôles	16-2	15-3	22-3	31-3	7-4	17-4	24-4	3-5
Tétranyques (femelles)	100 infestation artificielle	589	2 400	8 267	6 046	225	61	2
Phytoseiulus (femelles)	—	—	600 (lâcher)	585	2 851	880	207	17

Par la suite, d'ailleurs, nous avons pu établir la toxicité lente mais certaine de ces vapeurs vis-à-vis de *P. persimilis* et même des Tétranyques à un degré bien moindre. Nous pouvons donc attribuer notre premier échec à l'émission périodique des vapeurs de soufre dans la serre. Ceci est confirmé par GOULD (1968) qui note que l'utilisation du soufre employé pour combattre l'oïdium gêne l'action des prédateurs et ne permet pas leur emploi tant que d'autres fongicides ne seront pas utilisés. Par ailleurs SIMMONDS (1972) a obtenu un contrôle effectif des Tétranyques sur rosiers en l'absence de fumigations de soufre.

Néanmoins, une fois ce premier obstacle levé, la lutte biologique contre les

Tétranyques en serre de rosier se heurte encore à quelques difficultés. Celles-ci ont déjà été soulignées par certains auteurs, en particulier, BRAVENBOER (1967) qui indique que la protection des parties commercialisées de la plante (feuillage et boutons floraux) est souvent imparfaite. BOYS et BURBUTIS (1972) corrobore cette affirmation malgré un essai de lutte biologique réussi avec ce même prédateur. En effet si les premières attaques sont généralement localisées dans la partie moyenne des plantes, après un certain temps de multiplication les nouvelles générations d'adultes envahissent les parties supérieures et sont alors susceptibles de causer des dégâts avant que les prédateurs aient éliminé les populations. Une mise au point est donc nécessaire pour donner à ce prédateur son maximum d'efficacité.

2. — ESSAIS EN SERRE DE FRAISIER

La culture du Fraisier, assez répandue dans les Alpes-Maritimes s'effectue principalement selon deux types de plantations :

— sous tunnel plastique avec parfois un chauffage d'appoint qui évite le gel,
— et en plein air généralement sur des coteaux bien exposés.

Les conditions thermiques sont naturellement assez différentes dans ces deux types de culture et il en résulte un échelonnement de la production qui commence à partir de mars-avril sous abri plastique, et à partir de mai en plein air ; dans ce dernier cas, suivant la période de plantation, les récoltes s'étendent jusqu'en décembre. Ces données varient dans une certaine mesure suivant l'exposition, les différents microclimats et bien entendu les caractéristiques des variétés cultivées.

Les attaques de Tétranyques qui peuvent se manifester à différentes époques sur les deux types de culture ont une intensité plus ou moins grande et sont plus ou moins précoces suivant les années mais elles coïncident toujours avec la récolte et posent, de ce fait, un problème à l'agriculteur. En effet les traitements chimiques nécessaires ne doivent avoir qu'une faible rémanence et perturbent de toute manière la périodicité très rapprochée des récoltes. Par ailleurs, le traitement d'une plante basse telle que le Fraisier est difficile, les Tétranyques se trouvant à la face inférieure des feuilles et les résultats sont souvent incomplets. Il nous a semblé intéressant, dans ce cas particulier, d'essayer une méthode de lutte biologique qui présente l'avantage d'être applicable à tout moment sur la culture.

Matériel et méthodes

Nous avons procédé tout d'abord à un essai préliminaire dans un compartiment de serre chauffée de 12 m² dépendant de la Station d'Antibes puis dans une étape ultérieure nous avons entrepris une étude en serre froide dans les conditions de la pratique horticole.

Dans les deux cas la variété cultivée était la Surprise des Halles, plantée soit en plants « frigo » (août 1971, compartiment), soit en plants « verts » (septembre 1971, serre). On a enregistré deux récoltes dans le compartiment, une en janvier et une en avril-mai et une récolte dans la serre froide en avril-mai-juin.

Au cours du premier essai qui a eu lieu dans le compartiment de serre, on a procédé tout d'abord le 13 mars à une infestation artificielle élevée de Tétranyques à raison de 10 femelles par pied. Après un certain temps de latence (10 jours), des comptages furent entrepris chaque semaine pour estimer le nombre de folioles attaquées. Simultanément une vingtaine de folioles étaient prélevées au hasard parmi les feuilles attaquées et leur population dénombrée au laboratoire. On a estimé globalement le niveau de la population en multipliant le nombre de folioles

attaquées par la population moyenne d'une foliole évaluée à partir des échantillons prélevés.

Le lâcher de *P. persimilis* eut lieu le 30 mars et a été réalisé dans la proportion de 1/5 dn nombre d'adultes de Tétranyques observés lors du plus récent comptage. Les populations de *Phytoseiulus* ont par la suite été estimées simultanément et par le même procédé que celles des ravageurs (fig. 2) ; le prédateur est, en effet, généralement absent des feuilles n'ayant pas hébergé d'acariens phytophages.

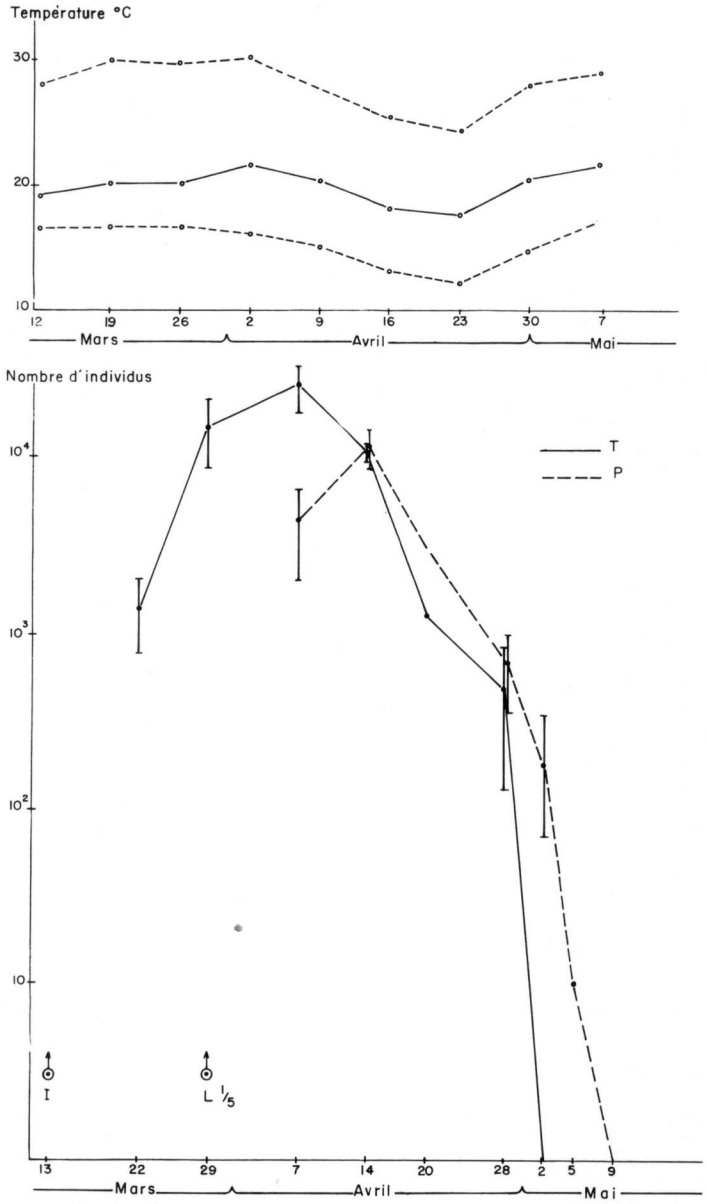


FIG. 2. — *Fraisiers :* Étude des populations dans le compartiment de serre d'Antibes

A : Moyenne des températures (relevées toutes les 2 heures) et des maxima et minima hebdomadaires.

B : Évolution des populations (adultes + deutonymphes) du Tétranyque (T) et de son prédateur (P). (I : infestation de Tétranyques ; L 1/5 : lâcher de *Phytoseiulus*, un pour cinq Tétranyques).

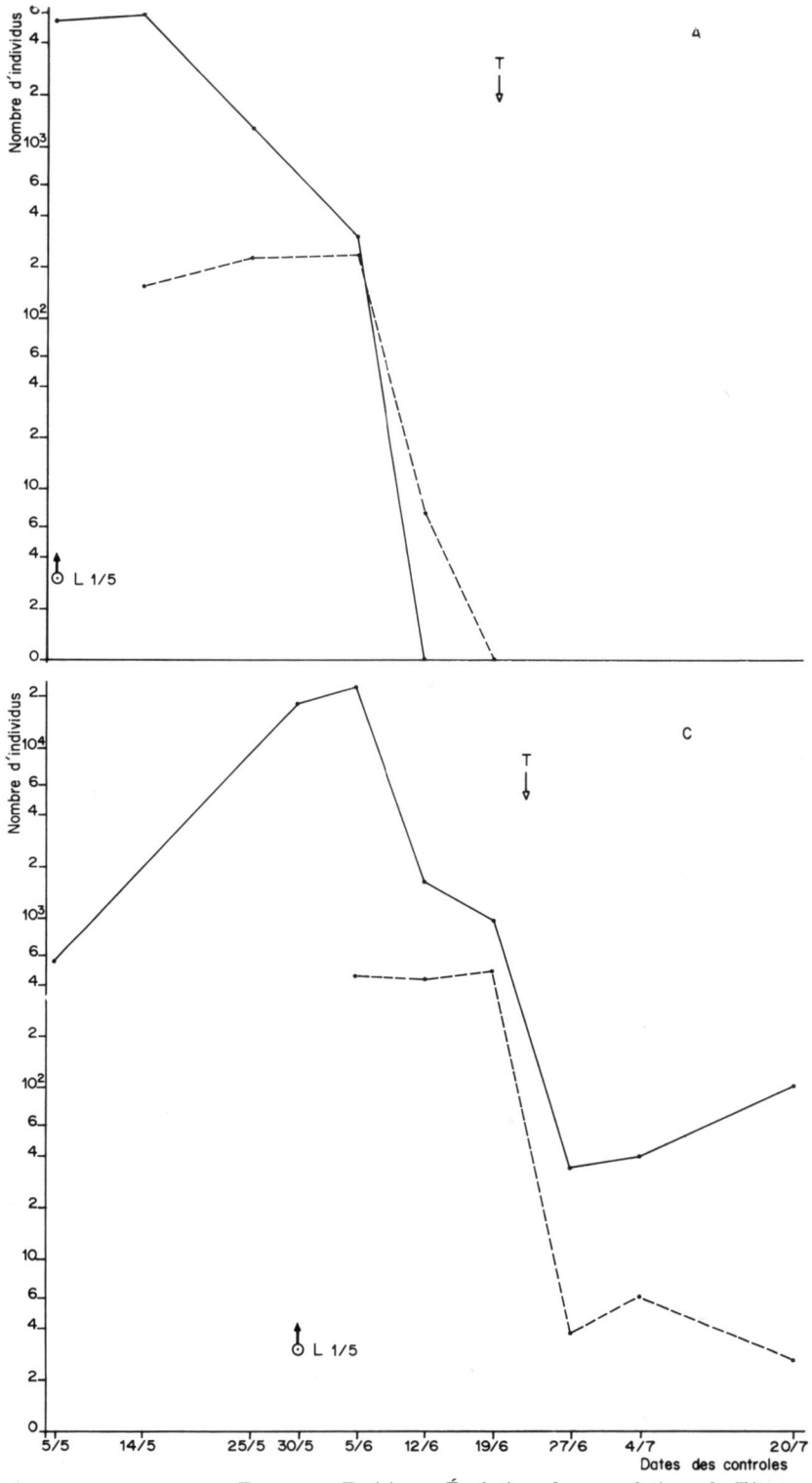
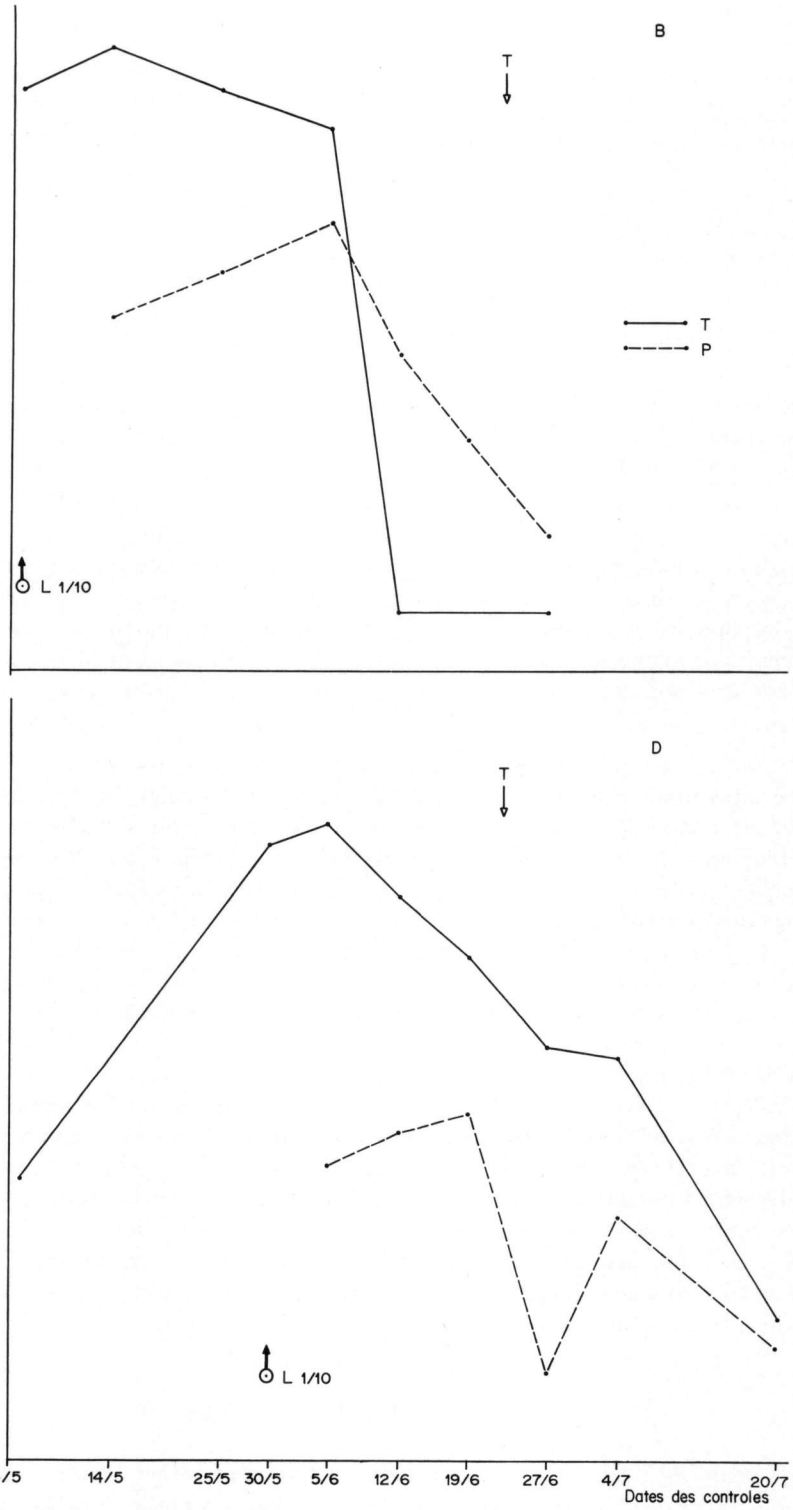


FIG. 3. — *Fraisiers* : Évolution des populations de Tétranyques (T) et d
ayant bénéficié d'un lâcher au 1/5 (A et C)et 1/10 (B et D



ytoseiulus (P) (tous stades compris) rapportés au m² de serre dans 4 parcelles
: lâcher de *Phytoseiulus* ; T : Traitement au Naled).

Des méthodes similaires d'estimation de population ont été utilisées dans la serre froide mise à notre disposition par M. LANDRA, horticulteur à Vence ; par suite de son emplacement sur un flanc de coteau orienté au sud, cette serre a bénéficié d'un microclimat assez chaud ce qui explique la précocité des récoltes (début avril) et des attaques de Tétranyques apparues presque simultanément avec toutefois un développement très lent au départ.

Quatre parcelles de 55 m² ont été délimitées à une extrémité de la serre, le reste devant être traité chimiquement ; dans deux d'entre elles, les attaques de Tétranyques sont apparues plus précocement et un lâcher a été effectué le 8 mai dans les proportions de 1/5 (parcelle A) et 1/10 (parcelle B) de la population déprédatrice adultes et deutonymphes. Dans les deux autres parcelles, l'apparition des foyers a été plus tardive et le lâcher a été fait le 1er juin dans les mêmes proportions 1/5 (parcelle C) et 1/10 (parcelle D).

Résultats

Les résultats ont été dans l'ensemble très satisfaisants et sans présenter toujours la même régularité, ont permis de mettre en évidence certaines caractéristiques de ces essais de lutte biologique :

— la population de Tétranyques continue à augmenter sensiblement les premiers jours suivant le lâcher et atteint son maximum 8 jours après puis elle décroît à un rythme plus ou moins rapide selon la proportion de prédateurs déposés sur la culture ; au bout de 5 semaines on note sa disparition quasi totale (fig. 2, 3 A et 3 B) ;

— la population de *Phytoseiulus* augmente rapidement à partir du lâcher initial et atteint son maximum 20 à 30 jours après le lâcher ; elle devient alors supérieure en nombre à la population de ravageurs puis diminue rapidement pour disparaître 8 à 10 jours après les Tétranyques (fig. 2, 3 A et 3 B).

On notera des anomalies par rapport à ce schéma, dans les figures 3 C et 3 D et même dans une certaine mesure dans la figure 3 B. En effet, un traitement au Naled effectué par erreur dans cette partie de la serre en fin d'études a perturbé considérablement la dynamique des populations. De ce fait la masse des prédateurs plus touchée par le traitement que son hôte, a décru avant d'atteindre le but recherché. Une des conséquences en a été le maintien d'un certain nombre de Tétranyques, les *Phytoseiulus* étant trop peu nombreux pour les éliminer rapidement.

L'état de la végétation au cours de cette expérimentation a toujours été satisfaisant et aucun dégât n'a été noté sur la récolte bien qu'aucune étude de rendement n'ait pu être effectuée.

Ces résultats rejoignent ceux de SIMMONDS (1971) qui a obtenu un bon contrôle des Tétranyques sous abri et même en plein air. Il indique que le prédateur est susceptible d'être efficace à raison de 2 individus par plant quand le niveau d'infestation est encore très bas. Pour OATMAN *et al.* (1966, 1967, 1968) *P. persimilis* a donné des résultats satisfaisants en plein air, au cours d'essais s'étendant sur trois années successives sans cependant que l'on ait pu établir de différence significative dans la production des lots traités avec *Phytoseiulus* et des lots témoins. Il note par ailleurs la présence simultanée de certains prédateurs naturels dont l'action a pu se surajouter à celle des Phytoseiides.

3. — ESSAIS EN SERRE D'AUBERGINE

La culture de l'Aubergine en serre, est relativement récente et ne couvre pas de grandes surfaces dans les cultures sous abri effectuées au printemps. Des travaux

sont actuellement entrepris pour la mise au point de variétés susceptibles de donner de bons rendements en serre et dont la sélection permettrait à cette culture, intéressante par les débouchés qui lui sont offerts, de prendre de l'extension dans les années à venir (POCHARD *et al.*, 1971).

Parmi les ravageurs pouvant y provoquer d'importants dégâts, des pullulations de Tétranyques (*Tetranychus urticae* KOCH) ont été fréquemment observées : celles-ci se développent généralement dans le midi de la France à la fin du printemps au moment de la mise à fruit et de la récolte ; l'apparition tardive de ces populations pose un problème, étant donné la longue rémanence de la plupart des traitements acaricides. Dans ces conditions il nous a paru intéressant de tenter de remplacer ces derniers par une méthode de lutte biologique.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a eu lieu à Valbonne dans une serre chauffée de 100 m² orientée N.-E., S.-O. ; deux variétés (145 pieds chacune) ont été plantées le 14 mars 1972 de part et d'autre du couloir central sur une moitié longitudinale de la serre en rangs latéraux de 5 pieds chacun. Cette répartition a été choisie compte tenu de la différence de développement des deux variétés dont la taille est très inégale.

Une infestation artificielle a été réalisée le 18 avril, la plantation étant âgée d'environ 1 mois et demi et les plants étant encore au début de leur croissance (20 cm de hauteur, 3-4 feuilles). La nécessité d'infester artificiellement la serre s'explique par le fait que l'expérimentation a eu lieu dans des serres récemment construites, installées dans une zone éloignée de toute culture maraîchère et où, par conséquent, des infestations naturelles avaient peu de chances de se produire la première année.

La répartition des Tétranyques dans la serre a été faite de façon homogène (2 femelles tous les 2 pieds) de manière à créer une population de niveau uniforme, conditions propices à une bonne efficacité de *P. persimilis*. Ce mode de distribution nous a permis également de suivre l'évolution des populations parallèlement en plusieurs points de la serre. Nous avons à cet effet choisi 15 pieds dans chaque variété répartis régulièrement dans la parcelle et dénombré sur place la population de Tetranyques adultes et ultérieurement de *Phytoseiulus* (dans les deux cas seules les femelles étaient comptées).

Par suite d'une attaque importante de Pucerons (*Macrosiphum euphorbiae* THOM. et *Myzus persicae* SULZ.) qui après s'être étendue rapidement dans toute la serre a dû être éliminée par un traitement au Pirimicarbe le 16 mai, les populations de Tétranyques après une période de croissance ont décliné sensiblement le 17 mai. On a donc décidé de procéder à une nouvelle infestation de Tétranyques plus élevée que la première (5 femelles tous les 2 pieds) le 19 mai.

A partir de cette date, *T. urticae* s'est multipliée rapidement et on a procédé à un lâcher de *Phytoseiulus* le 8 juin dans des proportions correspondant à 1/10 de la population de Tétranyques, celle-ci ayant été estimée sur chaque variété par un comptage sur 25 pieds, soit 17 p. 100 des plants.

Résultats

Au niveau de la serre, les populations de ravageurs ont augmenté considérablement au cours des jours suivants et ont atteint leur maximum le 21 juin, soit 15 jours après l'infestation. A partir de la semaine suivante, on note un déclin rapide des Tétranyques qui disparaissent presque totalement vers le 19 juillet soit 6 semaines après le lâcher du prédateur. Corrélativement la population de *Phytoseiulus* d'abord apparemment stationnaire s'est développée à partir du 21 juin et atteint son maximum le 5 juillet pour décroître et disparaître pratiquement le 26 juillet une semaine après les Tétranyques (fig. 4 A). Les différences de populations enregistrées sur les deux variétés sont dues simplement à une surface végétale moins importante dans la variété « Monstrueuse de New York » consécutive à sa taille plus réduite.

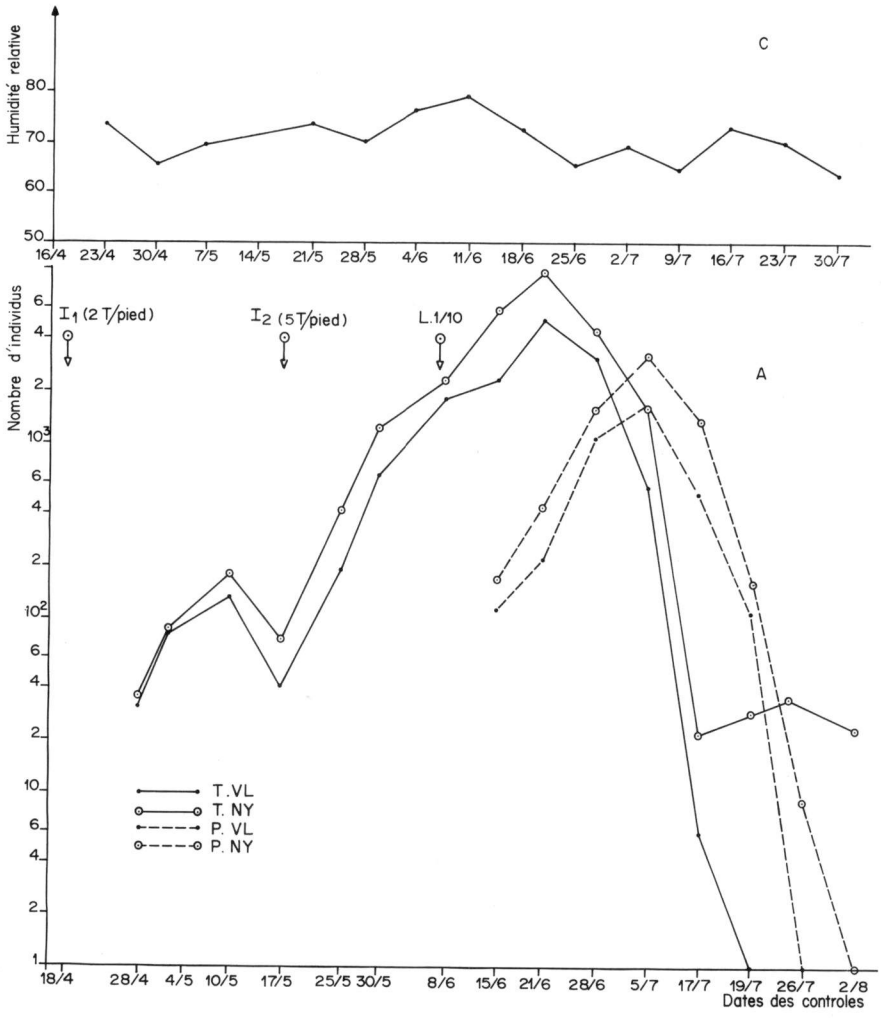
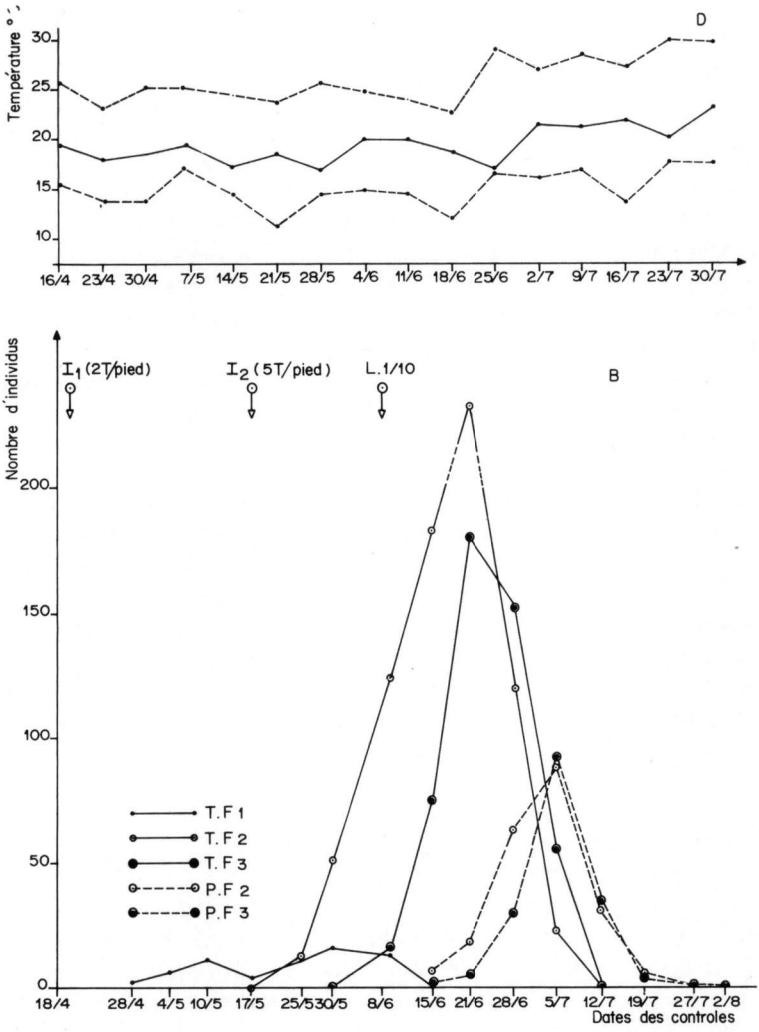


FIG. 4. —

A : Courbe cumulative des populations de Tétranyques (T) et de *Phytoseiulus* (P) sur 14
(I_1 et I_2 : première et deuxième infestation de Tétranyques ; L 1/10 : lâcher de
B : Évolution des deux populations sur feuilles d'âge différent (moyenne) par pied pour
C : Moyenne des variations d'hygrométrie relative au cours de l'essai.
D : Moyenne hebdomadaire des températures (relevées toutes les 2 heures) et des maxima

Au niveau de chaque pied, on a noté au cours de la même période, le développement des populations sur les différents organes de la plante (fig. 4 B), on constate une colonisation progressive des parties jeunes du végétal. Tant que les Tétranyques se maintiennent sur le feuillage, les dégâts se limitent à une perte d'assimilation chlorophyllienne due au dessèchement d'une partie du tissu foliaire et dont il est difficile d'estimer les répercussions au niveau du rendement. Dès que les attaques commencent à atteindre les feuilles en cours de développement (F 3) et presque



Aubergine

pieds des variétés « Violette longue » (V. L.) et « Monstrueuse de New York » (N. Y.). *Phytoseiulus*, un pour dix Tétranyques).

l'ensemble des deux variétés). F_1 : feuille âgée ; F_2 : feuille moyenne ; F_3 : feuille jeune.

et minima observés au cours de l'essai.

simultanément les bourgeons, les pertes deviennent plus sensibles car on note l'avortement des fleurs et le dessèchement des jeunes boutons floraux. Il est intéressant de noter à ce sujet que la population de Tétranyques relativement élevée au moment du lâcher a environ quadruplé en 15 jours avant que les *Phytoseiulus* aient pu intervenir efficacement. On doit donc tenir le plus grand compte de ce temps de latence que nous avons observé également sur fraisiers et qui est inhérent à toute méthode de lutte biologique à l'aide de *Phytoseiulus*.

CONCLUSION

Nous avons pu au cours de cette étude vérifier l'efficacité de *P. persimilis* sur différentes cultures. Quelles que soient les conditions climatiques ou l'espèce végétale envisagée (à l'exception d'un seul essai) l'utilisation de ce prédateur a abouti à un blocage des populations de Tétranyques au bout de 2 semaines et à son élimination totale en 4 à 6 semaines. Dans le cas du Rosier l'essai effectué en absence de vapeurs de soufre, suit exactement ce schéma, et il est probable que seul ce facteur est responsable de l'échec observé.

Cependant, de nombreux points restent encore à éclaircir afin de déterminer les modalités d'utilisation de ce prédateur. C'est ainsi qu'il est important de connaître avec une certaine précision et compte tenu des conditions climatiques saisonnières, le seuil d'intervention au-delà duquel un lâcher de *Phytoseiulus* sera trop tardif et ne permettra pas d'éviter un développement excessif de Tétranyques et une certaine perte de rendement. Bien entendu, cette notion est étroitement liée à celle *de seuil de tolérance économique* (ou seuil de nuisibilité) et nécessite une expérimentation précise comportant un contrôle des rendements et une évaluation exacte des populations. C'est dans le cadre de la détermination de ces seuils que pourra s'effectuer une extension de cette méthode de lutte biologique.

Un deuxième point fondamental semble être la détermination de la proportion optimum prédateur-proie établie lors des lâchers. Dans les essais réalisés, celle-ci a toujours été de 1/10 ou de 1/5 ce qui est relativement élevé. Il faut remarquer cependant que ces essais ont été volontairement effectués quand les populations de Tétranyques avaient atteint un développement important. Il est probable que cette proportion est à revoir en fonction d'essais réalisés, dans le cadre d'une application pratique, à des niveaux de population beaucoup plus bas.

Dans le même but de mise en pratique de ces résultats, des études sont actuellement poursuivies à Versailles, afin de déterminer la nocivité des différents insecticides et fongicides utilisés contre les autres ravageurs des cultures et les maladies cryptogamiques, vis-à-vis de ce prédateur ; elles permettront, dans une optique de lutte intégrée, de choisir les produits peu nocifs contre *Phytoseiulus* pour éliminer ces différents agents ou du moins de connaître, en tous cas, les répercussions éventuelles de ces traitements (COULON, communication personnelle).

Toutes ces données permettent de penser que, dans un proche avenir, cette méthode dont l'efficacité et l'inocuité ne sont plus à démontrer, pourra prendre une extension importante dans les cultures sous abri. Toutefois, cela ne sera possible que dans le cadre d'une assistance technique formée à ces problèmes qui, après avoir fourni le prédateur, pourra aider et conseiller l'horticulteur dans la mise en place et la surveillance de ce nouveau type de traitement.

Reçu pour publication en octobre 1974.

SUMMARY

ATTEMPS TO CONTROL *TETRANYCHIDAE* OF VEGETABLE AND ORNEMENTAL CROPS IN GREENHOUSE USING THE PREDATORY MITE *PHYTOSEIULUS PERSIMILIS*

Phytoseiulus is one of the best auxiliairies for the biological control of mites on several crops, especially in Cucumber greenhouses in northern Europe, but its use in southern part of France must be adapted.

In Antibes area, some trials have been done on Rose, Strawbery and Egg-plant in greenhouse. The pest increase has been stopped fifteen days after the *Phytoseiulus* introduction and its elimination happens in four to six weeks on Strawberry and Egg-plant. Good result have been obtained on Rose too, when there was no Sulphur vapor.

It will be necessary to define the economic injury level which can be tolerated, the best predator/pest ratio and the pesticides influence before this efficient method can be propagated with the horticulturist. However a technical assistance will be always necessary for its practical use.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEGLIAROV G. A., 1967. Ergebnisse der Untersuchungen und der Anwendung von *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT als biologische Bekämpfungsmittel gegen Spinmilben in der Sowjetunion. *Nachtenbl. deutsch. Pflanzenschutzdienst Berlin*, **21**, 197-200.

BOHM H., 1966. Ein Beitrag zur biologischen Bekämpfung von Spinmilben in Gewächshausen. *Pflanzenchutz Ber.*, **34**. (5-6), 68-77.

BOYS F. E., BURBUTIS P. P., 1972. Influence of *Phytoseiulus persimilis* on populations of *Tetranychus turkestani* at the economic threshold on roses. *J. econ. Entomol.*, **65**, 114-117.

BRAVENBOER L., 1967. Biological control of mites in glasshouses. *Proceed 2nd Int. Congr. Acarology*, 365-371.

BRAVENBOER L., DOSSE G., 1962. *Phytoseiulus riegeli* DOSSE als Prädator einiger Schadmilben aus der *Tetranychus urticae* Gruppe. *Entomol. exp. appl.*, **5**, 291-304.

CHANT D. A., 1961. An experiment on the biological control of *Tetranychus telarius* L. in a greenhouse, using *Phytoseiulus persimilis* A. H. *Can. Entomol.*, **93**, 437-43.

DEPORTES L., 1969. Problèmes posés par les acariens des cultures florales. *Rev. Zool. agric. Path. Veg.*, **681-3**, 37-50.

DOSSE G., 1958. Uber einige neue Raubmilbenarten (*Acari, Phytoseiidae*). *Pflanzenschutz Ber.*, **21**, 44-61.

GOULD H. J., 1968. Glasshouse and ornemental crops. *J. appl. Ecol.*, **5**, 513-516.

GOULD H. J., HUSSEY N. W., PARR W. J., 1967. Large scale commercial control of *Tetranychus urticae* KOCH on cucumbers by the predators *Phytoseiulus persimilis* A. H. *Proceed. 2nd Intern. Congr. Acarology*, 383-388.

LAING J. E., 1968. Life history and life table of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT. *Acarologia*, **10**, 578-588.

LAING J. E., 1969. Life history and life table of *Tetranychus urticae* KOCH. *Acarologia*, **11**, 32-42.

OATMAN E. R., MCMURTRY J. A., 1966. Biological control of the two-spotted spider mite on strawberry in southern California. *J. econ. Entomol.*, **59** (2), 433-439.

OATMAN E. R., MCMURTRY J. A., SHOREY H. H., VOTH V., 1967. Studies on integrating *Phytoseiulus persimilis*. Releases, chemical applications cultural manipulations and natural predation for control of the two spotted mite on strawberry in southern California. *J. econ. Entomol.* **60**, 1344-1351.

OATMAN E. R., MCMURTRY J. A., VOTH V., 1968. Suppression of the two-spotted spider mite on strawberry with mass releases of *Phytoseiulus persimilis*. *J. econ. entomol.*, **61**, 1517-1521.

POCHARD E., BREUILS G., LAMARTI A., 1971. Essais de production d'aubergines en serre. *Pepinieristes, Hortic., maraîchers*, **116**, 35-44.

REDLICH G. C., DUBOIS M., 1971. La lutte biologique, une nouvelle méthode pour vaincre l'araignée rouge en serre. *Pépiniéristes, Hortic., maraîchers*, **110**, 6853-6854.

SIMMONDS S. P., 1971. Observations on the possible control of *Tetranychus urticae* on strawberries by *Phytoseiulus persimilis*. *Plant. Pathol.*, **20**, 117-119.

SIMMONDS S. P., 1972. Observations on the control of *Tetranychus urticae* on Roses by *Phytoseiulus persimilis*. *Plant. Pathol.*, **21**, 163-165.

VOGEL W., 1965. Deux années d'expériences pratiques de lutte biologique contre les araignées rouges sur une base commerciale. *Boll., Zool. Agric. Bachic, s. II*, **7**, 295-298.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2), 227-246.

ÉTUDE AU CHAMP DE L'EFFET DE LA SUCCESSION DES VARIÉTÉS DE POMME DE TERRE : ACKERSEGEN, BINTJE ET KENNEBEC (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) SUR LA BIOLOGIE DU DORYPHORE (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY.) (COLÉOPTÈRE, *CHRYSOMELIDAE*)

Sylvie DERRIDJ

Station de Zoologie,
Centre national de Recherches agronomiques, I. N. R. A.,
78000 Versailles

RÉSUMÉ

Cette étude portant sur les modifications de la biologie du Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* SAY.) provoquées par des changements d'hôtes de l'adulte à la larve est réalisée au champ. Le matériel végétal est constitué par trois variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) : Ackersegen, Bintje et surtout Kennebec.

Les expériences sont faites sur pieds entiers, les larves étant élevées par groupes de dix, dans des boîtes grillagées. Ce mode expérimental est comparé à un élevage sans boîtes pour l'évaluation du taux de mortalité larvaire et son interprétation. Une formule est déterminée afin de connaître la température maximale à l'intérieur des boîtes en fonction d'une constante caractéristique de celle-ci et de différents critères météorologiques.

Les principaux résultats sont interprétés par la méthode d'analyse factorielle des correspondances. Les durées moyennes des stades larvaires sont calculées à l'aide de formules mathématiques établies dans cette étude.

Un effet de la succession de variétés différentes de l'adulte à la larve est observé. Celui-ci dépend de la nature même des variétés considérées, du stade physiologique de la plante, de la présentation de la plante (entière ou coupée) à l'adulte (étudié essentiellement sur la variété Kennebec).

Le rôle de la plante-hôte des parents peut intervenir sur certains caractères biologiques du Doryphore tels que la durée de développement et le taux de mortalité larvaires, le taux de métamorphose imaginale et le taux de survie des adultes venant d'émerger.

Une sensibilité particulière du deuxième et dans une moindre mesure du troisième stade larvaire est remarquée.

Deux souches de Doryphore, l'une provenant de la nature (s'alimentant probablement sur diverses variétés) et l'autre du laboratoire (maintenue sur les trois variétés différentes) réagissent différemment aux effets de la succession variétale.

La variété Kennebec qui a été étudiée ici plus spécialement semble avoir une action impor-

tante par l'intermédiaire des parents ; de plus si cette variété leur est présentée coupée, son action est notablement différente de celle observée dans le cas d'une plante entière : la durée de développement des larves quelle que soit leur variété hôte est plus longue et la mortalité larvaire plus importante.

1. — INTRODUCTION

Les caractères (physiques, physiologiques, biochimiques) d'une plante peuvent donner à celle-ci la capacité de se défendre contre les ravageurs et de diminuer leur population. Une variété « susceptible » fournit les conditions favorables aux insectes non seulement au moment de leur attaque mais aussi sur les générations suivantes. De même, lorsque l'on change les hôtes pendant l'évolution d'une ou plusieurs générations sur la même plante hôte, l'effet de l'état physiologique s'effectue sur les différents stades en présence et sur les descendants (LABEYRIE, 1967). La succession de variétés (susceptible ou résistante) sur la descendance d'un insecte a donc un rôle important dans les relations plantes-insectes.

Cette action dépend parfois de l'alimentation des parents et même de l'âge et de l'état physiologique de la mère, qui peuvent affecter les caractères des descendants (REYNOLDS, 1945 ; LEGAY, 1954 ; PARSONS, 1962 ; LABEYRIE, 1967).

Dans le cas de *Leptinotarsa decemlineata* il est évident que les plantes-hôtes ont une importance sur le comportement et le développement de cet insecte (TROUVELOT *et al.*, 1933 ; MOREAU, 1971). Ces effets peuvent être associés à des facteurs nutritionnels de la plante (HSIAO et FRAENKEL, 1968 *a*, 1968 *b*).

MOREAU (1971) a observé que la variété Kennebec peut montrer certains caractères de résistance au Doryphore. L'étude plus particulière des effets de la succession de cette variété avec d'autres : Ackersegen et Bintje a été effectuée dans les conditions naturelles. De plus, le mode de présentation de la plante (entière ou coupée), la souche de l'insecte et la technique d'élevage ont été inclus dans ce travail afin d'étudier leurs effets sur la biologie des descendants du Doryphore.

2. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. — *Élevage de l'insecte*

a) *Entretien de la souche.*

Les souches de Doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* SAY. sont entretenues continuellement en laboratoire dans une enceinte où la température est de 25 ± 1°C, l'hygrométrie de 60 à 70 p. 100 et la photopériode de 18/24 heures. Elles sont renouvelées chaque année par des individus pris dans la nature.

Les insectes sont alimentés sur milieu naturel, les adultes sur plante coupée dont l'extrémité plonge dans un godet rempli d'eau de ville. Celui-ci est enfoncé dans la terre d'un pot de 20 cm de diamètre, le tout est recouvert d'une bonnette de toile métallique d'environ 30 cm de haut.

Les œufs sont recueillis en découpant la feuille sur laquelle ils ont été déposés et mis dans de petites boîtes en plastique.

Les larves de premier et deuxième stades sont disposées dans des boîtes aérées en plastique et nourries de feuilles coupées. Aux troisième et quatrième stades, elles sont élevées de la même façon que les adultes. Les larves s'enfouissent dans la terre maintenue humide. Dans tous les cas, les feuillages sont changés chaque jour. Ceux-ci n'ont pas un âge déterminé mais un aspect qui correspond à un état turgescent et vert.

b) *Souches utilisées.*

Nous nous sommes servis de trois souches de Doryphores élevés en laboratoire sur les trois variétés de Pomme de terre : Ackersegen, Bintje et Kennebec, présentées coupées.

Dans le cas de Kennebec, une étude supplémentaire a été faite avec une souche élevée sur plante entière.

Le rôle de la souche de Doryphore a été constaté à l'aide d'adultes capturés dans la nature (en majorité sur Ackersegen) avant la diapause hivernale.

2. — *Culture de la plante-hôte*

a) *Au cours de l'année.*

Les tubercules de *Solanum tuberosum* LINNÉ ont diverses origines : de Hollande pour Kennebec, de Bretagne pour Bintje et Ackersegen. Ils sont conservés sur clayettes dans un local peu chauffé, semi-obscur, mis en culture, soit sous chassis chauffés par le sol dans une terre riche en azote (terreau) et arrosés avec de l'eau de ville, soit en serre lorsque la saison est particulièrement froide, soit au champ à la bonne saison sur un sol argilo-limoneux.

Lorsque les tubercules que l'on désire cultiver sont en période de dormance, celle-ci est evée par des traitements à la Rindite (monochlorhydrine de glycol + dichlorure d'éthylène + tétrachlorure de carbone).

b) *Pour l'expérimentation.*

Les tubercules n'ont subi aucun traitement préalable.

Les cultures ont été faites sur un sol argilo-limoneux à forte proportion de sable fin, pauvre en azote, acide phosphorique assimilable et potasse échangeable, et à teneurs normales en autres éléments.

Les plantes sont disposées alternativement sur quatre rangées.

Trois variétés de Pomme de terre ont été considérées :

1° Ackersegen qui est tardive et réputée sensible au Doryphore,
2° Bintje, semi-tardive, moins favorable à l'insecte,
3° Kennebec, tardive ou semi-tardive suivant les conditions et dont le degré de résistance diffère suivant l'origine alimentaire du ravageur.

TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

1. — *Protocole*

Les études ont été faites au champ à Versailles, fin juin, juillet et septembre 1971. Les moyennes des conditions météorologiques journalières pour les périodes d'expérimentation sont les suivantes :

1971	*t* mini. (°C)	*t* maxi (°C)	*t* moy. (°C)	HM (%)	RG (mJ/m²)	Vent (m/s)	Pp (mm)
fin juin	9,9	18,5	14,2	74,5	16,1	1,5	20,9
juillet	12,5	24,6	18,5	72,0	21,8	1,0	32,1
septembre	10,0	21,6	15,8	69,0	12,0	1,6	1,7

t = température
HM = humidité relative moyenne
RG = rayonnement global
Pp = précipitations

Deux méthodes expérimentales sont employées : les larves sont élevées soit librement sur les pieds de Pomme de terre soit dans les boîtes rondes entièrement grillagées d'un diamètre de 11,5 cm et percées sur le côté afin de permettre l'introduction de la tige. Les boîtes sont soutenues horizontalement par un piquet de fer courbé à angle droit. La fixation des boîtes est réalisée par un gros élastique (fig. 1).

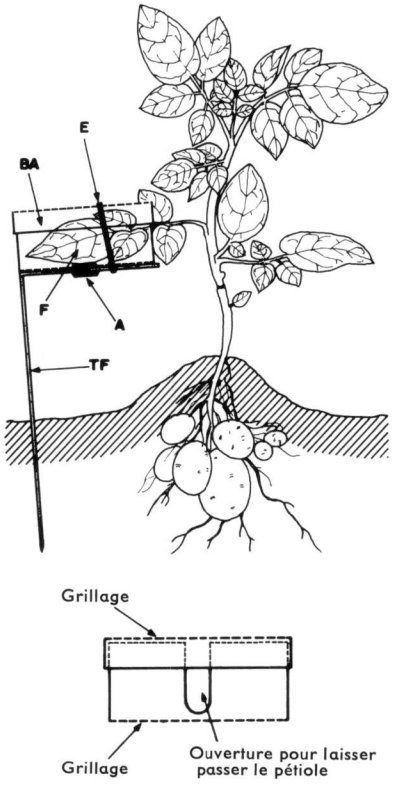


FIG. 1. — *Schéma de la boîte aérée et mode d'utilisation*
A : aimant, B. A. : boîte aérée, E : élastique, F : feuille, T. F. : tige de fer

Ces boîtes permettent d'isoler des groupes de 10 à 20 larves au maximum sur pied entier, sans modification du port de la plante.

Elles créent un micro-climat que l'on peut déterminer avec des données météorologiques du C. N. R. A. de Versailles en utilisant la formule.

$$\frac{Rn \times 10^6}{Dj \times 3\,600} - K\sqrt{2u} \times DT = 0$$

K = constante à calculer, caractéristique de la boîte,
u = vitesse du vent,
DT = différence de température maxima entre la boîte et l'extérieur,
Rn = rayonnement net évalué à 0,6 RG (rayonnement global),
Dj = durée du jour, en heures, au 20 VII = 12
au 20 VIII = 11

On détermine ainsi K, ce qui permet de calculer la température maximum dans la boîte (TMB) pour chaque journée.

$$TMB = TME + \frac{10^6 \times 0{,}6\ RG}{12 \times 3\,600 \times K\sqrt{2u}}$$

TME = température maximum extérieur à la boîte.

Quand la température dans la boîte est élevée (30°C), la larve de Doryphore se met généralement à la face inférieure de la feuille où la température est plus faible et se rapproche de celle qui règne à l'extérieur.

La photopériode sous laquelle ont poussé les plantes utilisées est longue, croissante, puis décroissante.

Neuf combinaisons de changements d'hôtes des parents (HP) et descendants (HD) ont été établies : AA, AB, AC, BA, BB, BC, CA, CB, CC ; chaque variété étant symbolisée par une lettre (A = Ackersegen, B = Bintje, C = Kennebec), la première lettre correspond à la plante-hôte des parents et la seconde à celle des descendants.

Le rôle joué par l'alimentation des parents sur la descendance a été observé chez Kennebec selon son mode de présentation sous forme de plante entière ou coupée. Ce fait est étudié par 6 combinaisons selon HP = Kennebec entière (Ce) ou coupée (Cc), HD = Ackersegen, Bintje ou Kennebec.

Nous appellerons « traitement » chaque type de combinaison entre HP et HD : AA, CcB par exemple.

Chaque « traitement », constitué par un lot de 20 larves, a été répété six fois au cours du développement de la plante les 23, 25, 28, 29 juin et les 6, 13 juillet. Parfois une forte mortalité (anormale) a obligé à ne pas tenir compte de certaines répétitions. Elle peut être due soit à une trop basse température nocturne, soit à des précipitations intervenues au moment où les larves étaient au premier et au début du deuxième stade.

Tous les un ou deux jours, ont été faits des relevés du nombre de larves de chaque stade et de leur mortalité. Celle-ci a été également mesurée à la même époque et à une époque plus tardive (septembre) sur des lots de cinquante larves libres, déposées au sommet de la végétation, un papier filtre a été disposé en forme d'entonnoir autour de la partie inférieure de la tige, afin de les empêcher de tomber au sol ou de se disperser. Dix-huit lots sont mis en place le 16 juin, quarante-deux le 18 juin et douze le 21 juin. Pour les infestations faites au mois de septembre, seules Ackersegen et Kennebec sont utilisées (HP et HD). Les tubercules conservés de la même façon que précédemment ont été plantés au mois de juillet. Vingt lots correspondant à quatre jours de ponte différents (7, 20, 21 et 23 septembre 1971), ont été disposés de la même façon qu'au mois de juillet.

Les larves survivantes sont dénombrées, une, deux et trois semaines après l'infestation.

Au mois de septembre, le feuillage ayant été partiellement abîmé par le Mildiou, les relevés ont été arrêtés au troisième stade larvaire.

2. — *Méthodes d'analyse*

L'effet de la succession des variétés considérées dans cette étude est évalué par le développement et la mortalité larvaire, la métamorphose imaginale et la mortalité des adultes à l'émergence.

Les durées des stades larvaires ont été calculées par une méthode qui permet d'une part de déterminer par récurrence le nombre de larves passées d'un stade à l'autre pendant une période donnée, et d'autre part la durée moyenne de chaque stade larvaire.

a) *Notations.*

Il y a quatre stades larvaires, notés li avec $i \in \{ 1, \ldots 4 \}$. Nous désignerons par xi le nombre initial de larves au stade li, par x_i^r le nombre de larves au stade li au $r^{ième}$ relevé, α_r sera le nombre de jours écoulés entre le $(r\text{-}1)^{ième}$ et $r^{ième}$ relevés et t_i^r le nombre de larves mortes au stade li au $r^{ième}$ relevé.

b) *Calcul du nombre de larves passées d'un stade à l'autre pendant une période.*

— Du stade l_3 au stade l_4

Si l'on note θ_3^r le nombre de larves passant du stade l_3 au stade l_4 au relevé $r^{ième}$, on a :

$$\theta_3^r = x_4^r + t_4^r - x_4^{r-1}$$

— Du stade l_2 au stade l_3

Si l'on note θ_2^r le nombre de larves passant du stade l_2 au stade l_3 au $r^{ième}$ relevé on a :

$$\theta_2^r = \theta_3^r + x_3^r + t_3^r - x_3^{r-1}$$

— Du stade l_1 au stade l_2

Notant θ_1^r le nombre de larves passant du stade l_1 au stade l_2 au $r^{ième}$ relevé, on a :

$$\theta_1^r = \theta_2^r + x_2^r + t_2^r - x_2^{r-1}$$

c) *Calcul de la durée moyenne des stades larvaires.*

— Durée du stade l_1 au stade l_3.

Dans ce cas, nous avons une formule rigoureuse. Si nous notons d_M la durée moyenne :

$$d_M = \frac{\alpha_1\ \theta_1^1 + (\alpha_1 + \alpha_2)\ \theta_1^2 + \ldots + (\alpha_1 + \ldots \alpha_n)\ \theta_1^n}{\theta_1^1 + \ldots\ldots + \theta_1^n}$$

si n est le nombre de relevés.

Les durées moyennes des stades l_2 à l_3 et l_3 à l_4 sont calculées à l'aide de formules similaires qui donnent une approximation assez bonne et suffisante en « moyenne ». Un calcul rigoureux fait sans ces formules est extrêmement fastidieux et ne donne pas de résultats plus significatifs « en moyenne ».

Les résultats obtenus ont été analysés par la méthode dite « d'analyse de variance » avec interférence et sans interférence entre HP et HD. Dans les deux cas, il y a une différence significative entre les « répétitions ».

Une analyse de variance faite entre les trois premières répétitions montre des différences peu significatives. Les plus grandes se manifestent entre celles du mois de juin et celles du mois de juillet. Ces deux périodes sont probablement déterminées par l'évolution de la plante (phénomène de tubérisation par exemple) et les conditions climatiques.

L'analyse statistique la plus adaptée dans ce cas, qui n'oblige à prendre aucune hypothèse et n'impose pas de « modèle » statistique *a priori*, est celle de l'analyse factorielle des correspondances (LEDART, 1971). Cette méthode a également l'avantage de représenter simultanément les proximités entre les variables et les critères (c'est-à-dire l'ensemble de larves de chacun des quatre stades, un jour donné) et également l'invariance figurée par le regroupement des points équivalents.

Nous avons procédé à deux analyses des correspondances. Dans la première, les données ont été simplement les relevés faits au champ, c'est-à-dire le nombre de larves de chaque stade un jour donné. Dans la seconde, les données concernent les durées respectives des quatre stades larvaires calculés par la méthode que nous venons de résumer.

Chaque analyse présente un léger inconvénient :

Dans le premier cas, les « proximités » sont légèrement masquées par le facteur « date » ; en effet, lorsque pour un traitement un stade est allongé, le suivant commence alors plus tard, et, de ce fait, l'éloignement du point représentant ce traitement est accentué.

Dans le deuxième cas, pour parer à cette difficulté, nous avons alors analysé la durée des stades, ce qui fait intervenir un calcul qui ajoute une approximation.

La méthode d'analyse de regression polynomiale aurait été également adaptée, bien que plus longue et plus restreignante quant au « modèle ».

3. — RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. — *Effet de la succession des variétés sur la descendance*

a) *Durée du développement larvaire.*

Au début de la croissance du végétal, le développement des larves sur les trois variétés est lié étroitement à HP ; les larves élevées sur Ackersegen, Bintje ou Kennebec et dont les parents se sont alimentés sur Ackersegen, présentent des durées de développement similaires et courtes par rapport aux autres « traitements » de la même période (tabl. 1).

TABLEAU I

Durée de stades larvaires (en jours) *de* L. decemlineata *élevé sur des plantes jeunes* (début de croissance ou avant la tubérisation) *à tubérisation induite, en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *et des descendants* (HD)

HP		HD			
		Ackersegen	Bintje	Kennebec	Stades larvaires
Ackersegen Plantes jeunes en début de croissance		2,8	2,4	2,7	I
		8,4	8,8	9,0	II
		2,5	3,1	2,5	III
		7,8	6,0	6,6	IV
Kennebec Plantes jeunes avant la tubérisation		4,0	4,8	8,8	II
		4,9	3,7	3,4	III
		6,0	3,5	9,9	IV
Ackersegen	Plantes à tubérisation induite	3,6	5,9	5,1	II
		5,6	3,7	5,6	III
		7,7	7,3	6,3	IV
Bintje		3,0	4,8	3,8	II
		3,2	5,6	8,3	III
		8,7	7,6	5,9	IV
Kennebec		6,4	4,9	7,4	II
		3,0	5,7	4,4	III
		7,6	6,9	5,2	IV

Celles dont les parents se sont nourris sur Bintje, présentent un allongement de la durée du troisième stade (BA : 5,6 j., BB : 4,5 j. et BC : 7,6 j.) et une variabilité dans la durée des autres stades. Les descendants des Doryphores alimentés sur Kennebec montrent une hétérogénéité de développement et sont plus dépendants de leur propre alimentation (HD) (fig. 2).

Les « traitements » des 28 et 29 juin pour les larves issues de parents nourris sur Ackersegen et Bintje montrent des groupements liés à HP. Les larves issues de parents élevés sur Kennebec présentent un allongement soit des deuxième et quatrième stades (cas des larves sur Kennebec), soit du troisième stade (larves sur Ackersegen) (tabl. 1).

Lorsque la tubérisation est induite (début juillet), l'influence de HP est moins prépondérante. Les développements larvaires dépendraient d'une interaction des deux hôtes successifs sans que l'un ou l'autre soit dominant.

Seuls les « traitements » ayant pour HP Ackersegen et HD Ackersegen et Bintje sont groupés.

Les « traitements » CC et CA prolongent le deuxième stade, BC le troisième, BA le quatrième (tabl. 1).

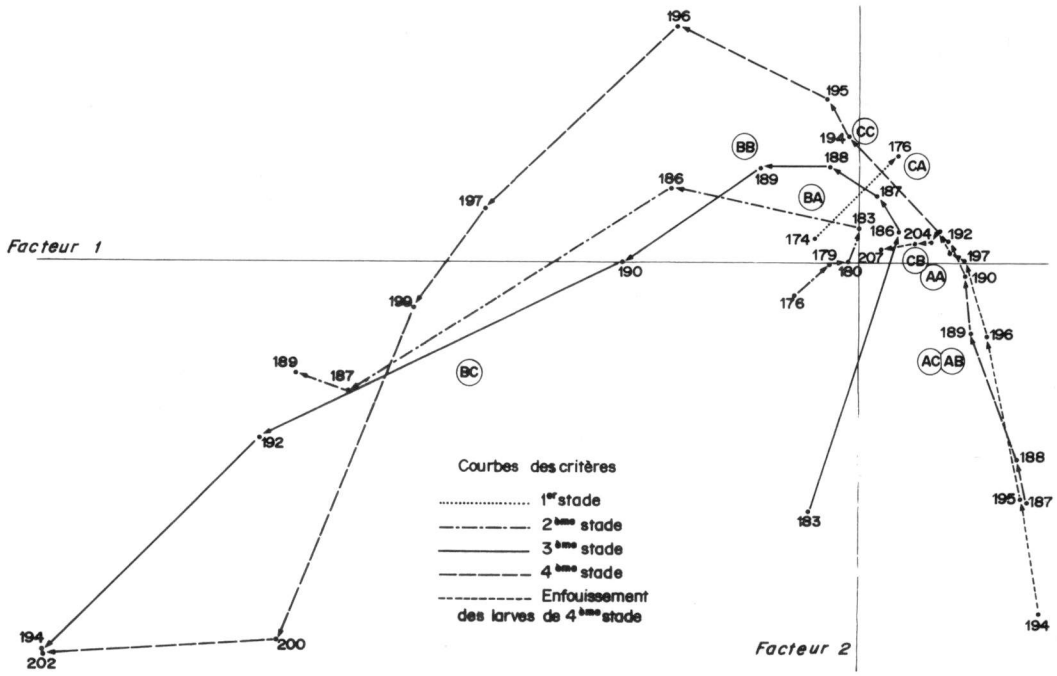


Fig. 2 A1

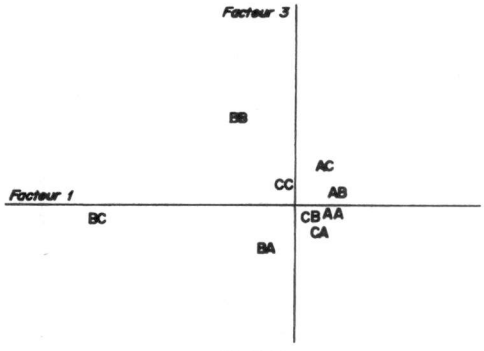


Fig. 2 A2

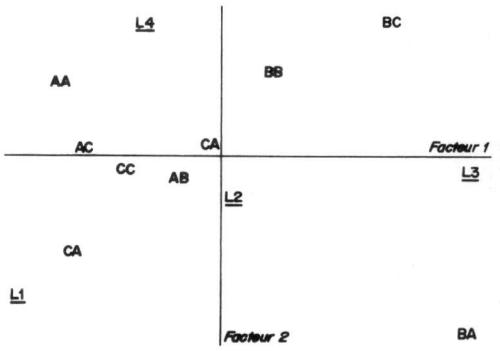


Fig. 2 B

FIG. 2. — *Analyse factorielle des correspondances :*
Tableau de dépendance du développement larvaire des plantes-hôtes des parents et des descendants en début de croissance des plantes

A. En figurant comme critère le nombre de larves de chaque stade un jour donné et les points « traitement ».
   (1) Par rapport aux axes 1 et 2
   (2) Par rapport aux axes 1 et 3

B. En figurant comme critères la durée moyenne de chaque stade larvaire et les points « traitement ».

Légende : AA, AB, AC, BA, BB, BC, CA, CB, CC : « traitement ». Chaque lettre représente une variété de pomme de terre, la première l'hôte des parents, la seconde celle des descendants. Les nombres indiquent les numéros de jour dans l'année. L_1, L_2, L_3, L_4 = 1er, 2e, 3e, 4e stades larvaires.

Lorsque les plantes sont tubérisées, vers le 13 juillet, les trois groupements dus à HP réapparaissent, mais à l'intérieur de ceux-ci, les points « traitements » sont plus dispersés qu'en première période où les plantes sont en début de croissance. Il existe à ce moment-là une action dominante de HP plus ou moins équilibrée par celle de HD.

Les résultats montrent l'influence de l'alimentation des parents sur la durée de développement larvaire. Or ceux-ci ont été élevés sur plantes coupées, alors que les descendants l'ont été sur plantes entières. La plante coupée est différente nutritionnellement de la plante entière, il y a dégradation de l'ARN, des protéines et de la chlorophylle, et apparition d'hormones de cicatrisation. Il n'est pas exclu que ce mode expérimental ait pu accentuer le rôle physiologique de la plante-hôte des parents.

En conclusion, nous notons deux types de réactions du Doryphore selon l'évolution de la plante :

α) *Dans un premier cas :* La plante-hôte des parents est dominante, soit elle compense les carences des plantes-hôtes des descendants — c'est le cas lorsque HP est Ackersegen et HD les deux autres variétés — soit elle présente une déficience qui n'est pas complètement compensée par l'alimentation larvaire ; par exemple, on observe un prolongement du deuxième stade larvaire (HP = Bintje) ou des troisième et quatrième (HP = Kennebec) quel que soit HD.

Nous notons également que le « traitement » BC (HP = Bintje et HD = Kennebec) est particulièrement défavorable au développement des larves qui ont un troisième et parfois deuxième stades plus longs. Ceci confirme les résultats énoncés par MOREAU (1971) d'après les expériences faites au champ. Ce phénomène s'observe au début de la croissance du végétal et pendant la tubérisation.

β) *Dans un deuxième cas :* Les actions des plantes-hôtes et des descendants se conjuguent de telle façon qu'il n'est pas possible de distinguer la dominance de l'une ou de l'autre. Ceci correspond à la période d'induction de la tubérisation pour Ackersegen et Kennebec.

Dans les deux cas, la durée du développement larvaire est en partie dépendante de l'alimentation des parents.

b) *Taux de mortalité larvaire.*

α) *Larves élevées en boîtes grillagées sur pied entier.*

Nous avons distingué la mortalité évaluée par le nombre de cadavres « mortalité constatée » (MC) et celle due au cannibalisme (MCa), c'est-à-dire une disparition des larves non expliquée par la présence d'un prédateur, l'ouverture accidentelle de la boîte... Il est vraisemblable que l'utilisation de boîtes grillagées favorise ce phénomène, surtout lorsque la valeur nutritionnelle de la plante est insuffisante.

Il apparaît des différences dans le taux de mortalité entre les « traitements » qui proviennent soit du cannibalisme, soit de la mortalité constatée (tabl. 2).

Globalement MCa est plus importante que MC. Elle apparaît notamment sur les plantes âgées. En outre, c'est sur Bintje qu'elle est la plus forte.

De plus, MC est liée à l'interaction de HP-HD : si HD est Ackersegen, MC est plus élevée quand les parents proviennent de cette même variété, c'est l'inverse que l'on constate avec Bintje. Les larves élevées sur Kennebec meurent en moins grand nombre quand les parents se sont nourris sur Ackersegen.

TABLEAU 2

Mortalité et taux de métamorphose (TM) (en pourcentage) *de larves de* L. decemlineata *élevées en boîtes et librement sur pieds entiers de Pomme de terre, en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *et des descendants* (HD)

Mode d'élevage	HD		HP			
			Ackersegen	Bintje	Kennebec	Moyennes
en boîtes	Ackersegen	MCa	25	13	34	24
		MC	23	18	18	20
		MG	48	31	49	43
		TM	76	84	74	78
	Bintje	MCa	28	45	37	37
		MC	20	10	28	19
		MG	48	55	65	56
		TM	70	49	100	73
	Kennebec	MCa	20	28	16	21
		MC	5	13	20	13
		MG	25	45	37	34
		TM	100	91	76	89
	Moyennes	MCa	24	29	29	
		MC	16	14	22	
		MG	40	44	51	
		TM	82	75	83	
librement (MG)	Ackersegen	1*	58	57	67	
		2	77	73	84	
		3	78	77	84	
	Bintje	1	77	80	78	
		2	91	90	90	
		3	91	91	93	
	Kennebec	1	78	70	79	
		2	93	86	87	
		3	94	90	92	

Mortalité globale (MG) = Mortalité due au cannibalisme (MCa)
+ Mortalité constatée (MC)
* : Les chiffes 1, 2, 3 indiquent les comptages.

Si l'on considère la mortalité globale MG (MC + MCa), celle-ci dépend plus de l'hôte larvaire que de celui des parents. Le cannibalisme peut modifier le sens des interactions : pour les larves élevées sur Ackersegen, MG est plus forte quand les parents se sont nourris sur Ackersegen et Kennebec ; pour celles élevées sur Bintje, elle est plus importante si les parents ont été sur Bintje ou Kennebec. L'incidence est moins importante dans le cas des larves alimentées sur Kennebec.

β) *Larves élevées librement sur pieds entiers à la même époque que précédemment.*

Dans ce cas, on fait abstraction du cannibalisme et l'on ne compte que les larves qui restent sur les pieds. Les dénombrements ont été faits avant la fin du quatrième stade, moment où elles ont tendance à migrer d'un pied à l'autre.

Les taux de mortalité sont beaucoup plus forts que lorsque les larves sont élevées dans des boîtes grillagées. Les causes en sont multiples. Ce sont entre autres les intempéries, vent et pluie (1,6 m/s de vent et 26,7 mm d'eau de pluie en moyenne), les prédateurs et les chutes de larves des premier et deuxième stades.

Pour chaque « traitement » la mortalité est sensiblement la même, sauf dans le cas où HD est Ackersegen : la mortalité est alors plus importante lorsque HP est Kennebec (84 p. 100 au lieu de 77).

Selon HD, le taux de mortalité varie. C'est sur Ackersegen que celui-ci est le plus faible, environ 20 p. 100 de moins que sur Bintje et Kennebec (tabl. 2).

γ) *Larves élevées librement sur pieds entiers* (au mois de septembre).

Comme aux mois de juin et juillet pour les larves élevées librement, le taux de mortalité montre une indépendance de HP et une dépendance de HD.

Les pourcentages de mortalité sont élevés pour les larves nourries sur Kennebec et sont deux fois plus faibles sur Ackersegen, quelle que soit l'origine alimentaire des parents.

Les taux de mortalité, moins forts que ceux constatés aux mois de juillet, pourraient s'expliquer par certaines différences climatiques, vent et précipitations plus importants, alors que les températures moyennes ont été les mêmes (environ 14°C).

Tout ceci montre que les conditions *expérimentales* et de *milieu* ont une grande importance sur le taux de mortalité. Les boîtes grillagées présentent certains avantages tels que : protection des larves contre les intempéries, tamponnage de variations brusques de température, barrière empêchant la chute des jeunes larves et l'intervention d'éventuels prédateurs tels que les guêpes, et enfin une plus grande facilité dans l'observation des stades larvaires.

Leur supériorité se manifeste par une diminution du taux de mortalité par rapport à celui des larves élevées librement.

En contrepartie, ce dispositif provoque un cannibalisme très important, capable de masquer l'effet étudié. Il crée un micro-climat qui accélère dans certains cas le développement des larves. Lorsqu'il pleut et qu'elles sont encore aux premier et deuxième stades, celles-ci risquent de se noyer dans les gouttes d'eau qui s'accumulent sur les parois.

L'étude portant sur des larves élevées en liberté présente plus d'inconvénients que d'avantages. Le taux de mortalité évalué dans ces conditions est très élevé et l'interprétation des résultats en est rendue plus délicate et même parfois impossible.

Toutefois, dans ce cas comme dans l'autre, Kennebec est moins favorable aux larves de doryphores que les autres variétés.

L'influence de HP et HD est mise en évidence par les essais en boîtes grillagées, alors que dans les expériences effectuées avec des larves libres, seule l'influence de l'hôte des descendants est constatée.

Ceci n'exclut pas que des expériences faites avec des larves libres puissent mettre en évidence l'action de l'alimentation parentale. MOREAU (1971) a constaté que

lorsque les parents ont été nourris sur Kennebec, la mortalité larvaire est plus importante. Dans ce cas, il s'agissait de la première génération de plantes issues de tubercules provenant du Canada. Alors que dans les expériences rapportées ici, c'est la deuxième génération qui a été employée.

Certaines propriétés de Kennebec peuvent disparaître ou apparaître, et n'être mises en évidence que lorsqu'un certain appareillage est utilisé.

L'élevage libre est la reproduction de ce qui se passe dans la nature, pour cette raison, ce mode d'expérimentation dans l'étude du taux de mortalité ne peut être négligé.

c) *Taux de métamorphose et survie des adultes jusqu'à leur enfouissement d'automne.*

Les taux de métamorphose TM (rapport du nombre d'individus ayant subi la mue imaginale au nombre de larves enfouies) consignés dans le tableau 2 sont différents selon HP et HD.

Ils ne sont pas indépendants de HP, car ils sont plus faibles quand celle-ci est Bintje. Les larves alimentées sur cette variété ont le taux de mortalité le plus élevé et le taux de métamorphose le plus faible. Lorsque HP est Kennebec, leur mortalité est forte et correspond à un pourcentage de métamorphose important. Dans ce dernier cas, survivent essentiellement les larves qui ont de grandes chances de se nymphoser.

Globalement, le taux de survie moyen de la larve à l'adulte est faible quand HD est Bintje (34,3 p. 100 au lieu de 44 et 58,7 p. 100 sur Ackersegen et Kennebec, quelle que soit HP), et ceux dont HP est Kennebec, 40,4 p. 100 au lieu de 47,4 et 50,2 sur Bintje et Ackersegen.

Les adultes de première génération pour chacun des neuf « traitements » sont placés dans des pots où ils pourront s'enfouir et sont nourris de rameaux coupés de la variété sur laquelle ils se sont alimentés durant leur vie larvaire. Leurs taux de mortalité figurent dans le tableau 3.

Leur survie est encore liée à HP : en effet, elle est généralement plus faible chez ceux dont l'origine est Kennebec, quelle que soit HD.

TABLEAU 3

Mortalité (en pourcentage) *des adultes de première génération de deux souches de* L. decemlineata *en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *et des descendants* (HD)

HD	HP					
	Souche « nature »			Souche « laboratoire »		
	Ackersegen	Bintje	Kennebec	Ackersegen	Bintje	Kennebec
Ackersegen	2	55	43	13	0	59
Bintje	62	60	42	19	44	33
Kennebec	1	1	2	9	4	45

Une forte mortalité est également constatée chez les Insectes élevés sur Bintje (HP et HD).

Au cours de la diapause, la mortalité est encore importante chez les individus qui ont été nourris sur Kennebec.

2. — *Étude chez Kennebec de l'influence de la présentation de la plante aux parents sur la descendance*

L'influence de l'alimentation des parents sur la descendance peut être modifiée par la présentation de la plante-hôte entière ou coupée. Ceci a été étudié pour Kennebec sur les mêmes critères que précédemment.

TABLEAU 4

Durée des deuxième et troisième stades (en jours), *taux de mortalité et taux de métamorphose* (en pourcentage) *des larves de* L. decemlineata, *en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *présentée entière ou coupée, et des descendants* (HD)

HD	HP			
	entière		coupée	
	Stades larvaires			
	II	III	II	III
Ackersegen	3,3	4,0	3,3	5,7
Bintje	5,1	4,1	5,7	9,2
Kennebec	4,7	4,0	8,8	4,6

	Taux de mortalité					
	MCa	MC	MG	MCa	MC	MG
Ackersegen	8	8	16	60	5	65
Bintje	8	25	33	60	10	70
Kennebec	15	2	17	20	35	55

	Taux de métamorphose	
Ackersegen	33	100
Bintje	1	90
Kennebec	1	75

Mortalité globale (MG) = mortalité due au cannibalisme (MCa) + mortalité constatée (MC)

a) *Durée du développement larvaire.*

Dans certains cas, elle varie suivant la présentation de la plante. En ce qui concerne les larves alimentées sur Bintje, on constate un allongement de la durée du troisième stade quand les parents ont été élevés sur plantes coupées, alors que sur Kennebec, c'est le deuxième stade qui est plus long (tabl. 4).

L'analyse des correspondances confirme ceci et montre que lorsque les parents sont alimentés sur Kennebec (pied entier) et les descendants sur Bintje ou Kennebec (pied entier), les durées du développement larvaire sont nettement différentes des cas où les parents se sont nourris sur Kennebec coupée. Le quatrième stade par exemple, est plus long. Cette différence aussi marquée n'est pas observée lorsque les larves sont alimentées sur Ackersegen.

En conclusion, le mode de présentation du feuillage de Kennebec donné aux parents a une importance sur le développement larvaire : lorsque la plante est coupée, cela prolonge la durée d'un ou plusieurs stades des descendants.

Il peut s'agir chez la plante coupée soit d'une déficience nutritionnelle par rapport à la plante entière, soit de l'apparition de substances défavorables aux larves. Une analyse biochimique du feuillage permettrait peut-être de choisir une de ces deux hypothèses, ou tout au moins de les hiérarchiser.

Ces résultats ont été obtenus à une période précise de l'évolution de la plante (26 et 28 juin) avant la tubérisation. Ils pourraient être différents à un autre stade de développement des hôtes.

b) *Taux de mortalité.*

Comme précédemment, la mortalité a été subdivisée en mortalité globale (MG), constatée (MC) et due au cannibalisme (MCa). Les valeurs de MC et MCa sont beaucoup plus fortes lorsque les parents ont été élevés sur plantes coupées (tabl. 3).

En considérant HD, la variété Bintje est la moins favorable, quelle que soit la souche utilisée, alors que les résultats sont comparables sur Kennebec et Ackersegen.

c) *Taux de métamorphose.*

Ceux-ci sont donnés avec une certaine réserve. En effet, une moindre résistance aux maladies (en particulier celle due au *Beauveria*) a probablement entraîné une mortalité des larves ou nymphes enfouies.

Ces taux de métamorphose sont inférieurs lorsque les parents ont été alimentés sur plante entière (tabl. 3).

A un taux de mortalité larvaire important correspond un taux de métamorphose élevé. Les larves qui ont survécu sont celles qui étaient les plus aptes à se nymphoser.

D'après FARGUES (1972), les chances d'infection par *Beauveria* sont modifiées en partie par la durée des stades larvaires. En effet, la mortalité « différée » est plus forte si ce sont les deuxième et troisième stades qui sont contaminés, phénomène qui se trouverait renforcé lorsqu'il y a allongement de la durée d'un des stades. Les études préliminaires faites sur l'influence éventuelle de Kennebec coupée, sur l'infestation par *Beauveria*, n'ont pas donné de résultats positifs (Fargues *c.p.*). Il semblerait que seuls les pieds entiers de cette variété entraînent une plus grande sensibilité de celles-ci au *Beauveria*.

3. — *Comparaison des résultats suivant l'origine de la souche de Doryphore*

Une souche récoltée dans la nature, et une autre venant du laboratoire sont comparées.

a) *Durée du développement larvaire.*

De la même façon que précédemment, la plante-hôte des parents (HP) influence le développement des descendants.

La souche « nature » a un deuxième stade plus court dans tous les cas, et un quatrième plus long pour BC et CB par rapport à la souche « laboratoire », qui présente un allongement du troisième stade pour ces mêmes « traitements ». Les quatre stades cumulés demandent plus de temps pour la souche « laboratoire » que pour la souche « nature » (sauf pour les « traitements » AB, AC, et BA) (tabl. 5).

TABLEAU 5

Durée de stades larvaires (en jours) *de deux souches de* L. decemlineata *en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *et des descendants HD*

HP	HD	Souche « nature »				Souche « laboratoire »			
		Stades larvaires (en jours)				Stades larvaires (en jours)			
		L_2	L_3	L_4	L_1 à L_4	L_2	L_3	L_4	L_1 à L_4
Ackersegen (A)	A	4,0	4,0	8,0	19,0	5,5	4,5	4,8	21,0
	B	3,9	4,0	7,2	19,0	6,2	3,6	6,4	19,0
	C	3,4	4,6	7,5	19,5	6,1	4,0	6,3	19,0
Bintje (B)	A	5,3	5,0	6,4	20,0	6,1	4,3	7,1	20,0
	B	4,1	5,0	7,3	20,0	6,3	5,1	7,3	22,0
	C	4,1	5,9	8,5	20,0	6,4	6,5	6,8	23,0
Kennebec (C)	A	4,0	4,0	7,6	19,0	5,9	4,1	6,8	20,0
	B	4,1	4,1	9,8	20,0	6,9	6,0	7,2	23,0
	C	4,6	4,6	7,7	20,0	8,2	3,8	7,4	23,0

Les différences portent surtout sur le deuxième stade larvaire. Les singularités relevées pour BC et CB confirment les réactions particulières, déjà notées pour ces « traitements ».

b) *Taux de mortalité larvaire.*

Dans le tableau 6, sont énoncés successivement en pourcentage, les taux de mortalité « globale », le cannibalisme et la mortalité « constatée » de la souche « nature ».

Comme pour la souche de laboratoire, la mortalité « globale » est liée à l'alimentation larvaire et est plus faible lorsque les larves se nourrissent sur Kennebec ; par contre, c'est sur Ackersegen qu'elle est la plus forte, alors que pour la souche « laboratoire » c'est sur Bintje (tabl. 2).

Si MG est comparable pour les deux souches, MCa est moins importante et MC plus élevée avec la souche « nature ». Il semble que celle-ci soit moins sensible aux carences alimentaires que la souche « laboratoire ».

TABLEAU 6

Mortalité et taux de métamorphose (TM) (en pourcentage) *de larves d'une souche « nature » de* L. decemlineata *en fonction de la plante-hôte des parents* (HP) *et des descendants* (HD)

La mortalité globale (MG) est la somme de la mortalité due au cannibalisme (MCa) et de celle qui est effectivement constatée (MC)

HD		HP			
		Ackersegen	Bintje	Kennebec	Moyenne
Ackersegen	MC	60	40	30	43
	MCa	12	5	15	11
	MG	72	45	45	54
	TM	53	53	21	42
Bintje	MC	25	20	51	32
	MCa	10	27	5	14
	MG	35	47	56	46
	TM	59	31	57	49
Kennebec	MC	12	25	40	26
	MCa	12	7	0	6
	MG	24	32	40	32
	TM	83	54	85	74
Moyenne	MC	32	28	40	
	MCa	11	13	7	
	MG	43	41	47	
	TM	65	46	54	

c) *Taux de métamorphose.*

D'après le tableau 6, le taux de métamorphose est lié à HP et surtout à HD.

Comme pour la souche « laboratoire », les parents nourris sur Ackersegen donnent des larves à fort pourcentage de métamorphose, surtout lorsque ces dernières sont sur Kennebec, alors que si HP est Bintje, le taux est nettement plus faible. La descendance élevée sur Kennebec se métamorphose à un taux plus élevé (74 p. 100) que si elle est élevée sur les autres variétés pour lesquelles les taux moyens sont similaires (42 et 49 p. 100).

La survie globale de la larve à l'adulte pour la souche « nature » en fonction de HD est faible sur Ackersegen (18,3 p. 100 au lieu de 26,6 et 50,3 sur Bintje et Kennebec) et selon HP sur Bintje et Kennebec (27,3 et 29,3 p. 100 au lieu de 38,7 p. 100 sur Ackersegen).

La mortalité des adultes avant l'émergence est liée à leur plante-hôte et à celle des larves (HD) (tabl. 4).

Dans ce cas, Bintje est peu favorable au Doryphore, contrairement à Kennebec (résultats semblables pour la souche « laboratoire », sauf pour le traitement CC).

4. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'analyse de l'effet de la *succession variétale* sur le *développement larvaire du Doryphore* montre que l'origine alimentaire de la souche de l'Insecte, et en particulier la variété sur laquelle se nourrissent les parents, doit être prise en considération dans l'étude de la biologie de la descendance.

Au champ, tout au long de l'évolution des trois variétés, l'origine alimentaire des parents a constamment un rôle sur la durée de développement de la descendance.

Lorsque le changement d'hôte parent-descendant correspond au passage d'une variété réputée « peu susceptible » à une variété « susceptible », le développement larvaire est différent de ce qu'il est quand les larves sont alimentées sur le même hôte que les ascendants.

Lors du passage de Bintje à Kennebec qui sont deux hôtes relativement peu susceptibles, le développement larvaire est d'autant plus lent.

Une souche de Doryphore provenant de la nature, qui généralement s'alimente alternativement sur diverses variétés et même sur d'autres espèces de Solanées, ne réagit pas de la même façon, au changement d'hôte parent-descendant, qu'une souche de laboratoire élevée exclusivement sur une seule variété.

Quand on considère au champ la mortalité des larves provenant de souches de laboratoire, on s'aperçoit qu'elle dépend plus directement de leur alimentation propre. Notons que les conditions expérimentales (larves placées dans des boîtes aérées ou laissées libres) modifient les résultats et leur interprétation. Dans les boîtes, les taux de mortalité reflètent une influence de l'hôte des parents (la mortalité est d'autant plus forte que les parents se sont alimentés sur Kennebec et les descendants sur Bintje), alors qu'en élevage libre, où la mortalité est beaucoup plus prononcée, seule la nature de l'hôte larvaire semble intervenir. Kennebec provoque la mortalité la plus importante.

Inversement, la mortalité est plus faible sur Kennebec que sur Bintje et Ackersegen, lorsqu'on a affaire à une souche naturelle d'origine plurivariétale.

Le taux de métamorphose imaginale est lié à l'alimentation des parents et des descendants. Une forte mortalité due à la nature de l'hôte peut favoriser directement ou indirectement, dans certains cas, l'infection par *Beauveria*, qui complique l'interprétation des résultats. Dans de nombreux essais, il semble y avoir une corrélation entre la survie de la population larvaire et sa possibilité de se métamorphoser en adulte.

Le taux de mortalité des adultes venant d'émerger est lié à leur alimentation à l'état de larve.

Le taux global de survie de la larve venant d'éclore à l'état adulte, est lié à l'alimentation des parents et des descendants. De plus, il est différent suivant l'origine des souches de Doryphore : les souches élevées en laboratoire sur Kennebec ont un taux de survie plus faible, si elles sont sur Bintje au champ, alors que pour les souches provenant de la nature, leur survie est moins bonne si les parents ont été alimentés quelque temps sur Bintje et Kennebec en laboratoire et sur Ackersegen au champ. L'action de Kennebec semble avoir une importance plus grande par l'intermédiaire de l'alimentation des parents.

Le mode de présentation de Kennebec sous forme de plante entière ou coupée a une influence sur la descendance. Lorsque les ascendants sont nourris sur du feuillage coupé (à une période définie de l'évolution du végétal, en phase de croissance avant l'induction par exemple), le développement des larves qui en descendent est plus lent, quelle que soit leur variété hôte, et la mortalité larvaire plus importante.

Kennebec est généralement défavorable au champ pour les Doryphores vivant sur elle tout au long de son évolution. La durée de développement larvaire est faible pendant la période d'induction de la tubérisation de la Pomme de terre, plus prononcée après la tubérisation.

En ce qui concerne la sensibilité des divers stades larvaires de l'Insecte, nos études ont montré une sensibilité particulière du deuxième stade et dans une moindre mesure du troisième. Ceci est à rapprocher des observations de WARDOJO (1969) qui en essayant d'établir un milieu artificiel pour *L. decemlineata*, a remarqué que l'exigence nutritionnelle des larves est d'autant plus forte que les larves sont jeunes.

Reçu pour publication en janvier 1975.

REMERCIEMENTS

A. M. MOREAU, Maître de Recherches, Station de Zoologie, C. N. R. A., Versailles, sous la direction de qui ce travail a été fait constituant une partie de Thèse de 3e Cycle soutenue à l'Université de Paris VI en 1973.

A. M. ARNOUX, Service de Biométrie, C. N. R. A., Versailles, et M. TOMASSONE, Service de Biométrie, C. N. R. Z., Jouy en Josas, pour leur aide dans le choix et l'utilisation des calculs statistiques utilisés dans cette étude.

SUMMARY

A FIELD STUDY ON THE EFFECT OF SUCCESSION OF POTATO VARIETIES : ACKERSEGEN, BINTJE AND KENNEBEC (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) ON BIOLOGY OF COLORADO POTATO BEETLE (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY.) (COLEOPTERA, *CHRYSOMELIDAE*)

A field study was undertaken on the biology of Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* SAY.) influenced by the change of host plants of adults to their larvae. Three varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) : Ackersegen, Bintje and specially Kennebec were considered.

The experiments were made on entire plants and the larvae are reared in groups of ten in aerated boxes. This system of experimentation was compared with rearing without boxes for evaluating the rate of larval mortality and its interpretation. A formula is determined in order to know the maximum temperature in the interior of boxes in the function of their characteristic constant and of different meteorological criteria.

The principal results are interpreted by a method of corresponding analysis. Average duration of larval stages are calculated with the help of mathematical model established in this investigation.

Effect of succession of different varieties from adult to larva is observed. This depends upon the characters of the varieties considered : physiological stage of plant, presentation of plant (entire or excised) to the adults (studied only in the case of Kennebec).

The role of host plants of parents can intervene in certain biological characters of beetles,

such as development period and mortality of larvae, rate of adult metamorphosis and the survival rate of newly emerged adults.

A sensibility in particular of second and less of third larval instars is observed.

Two sources of beetles, one from nature (probably feeding on diverse potato varieties) and other from laboratory culture (maintained on 3 different varieties) acted differently to the effects of varietal succession.

The variety Kennebec studied specially in the present experiment, seemed to have an important action through parents. Moreover, when this variety is presented to them in excised form, its action is notably different from that of entire plant : whatever may be the host variety, the development of larvae is slow and their mortality is increased.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FARGUES J., 1972. *Sensibilité a* Beauveria bassiana (BALS.) VIULL (Fungi imperfectii, Moniliales) *des larves de Doryphore,* Leptinotarsa decemlineata SAY (Coléoptères, *Chrysomelidae*) *soumises à des doses réduites d'insecticides chimiques.* Thèse de 3e cycle, Université de Paris VI, 71.

HSIAO T. H., FRAENKEL G., 1968 *a.* The influence of nutrient chemicals on the feeding behaviour of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera, *Chrysomelidae*). *Ann. Ent. Soc. Amer.*, **61**, 44-54.

HSIAO T. H., FRAENKEL G., 1968 *b.* The role of secondary plant substances in the food specificity of the Colorado potato beetle. Isolation of phagostimulative substances from host plant of the Colorado potato beetle. Selection and specificity of the Colorado potato beetle for solanaceous plants. *Ann. Ent. Soc. Amer.*, **61**, 485-493.

LABEYRIE V., 1967. Physiologie de la mère et progéniture des insectes. *Bull. biol. Belg.*, **101**, 13-71.

LEDART L., FENELON J. P., 1971. *Statistique et informatique appliquées.* Ed. Dunod.

LEGAY J. M., 1954. L'influence des facteurs externes en particulier des conditions de l'alimentation de la larve sur les ébauches génitales de celle-ci et sur certaines propriétés des œufs de la génération suivante chez *Bombyx mori* L. *Ann. Inst. nat. Agron.*, Paris, **41**, 17.

MOREAU J. P., 1971. Comportement de *Leptinotarsa decemlineata* SAY vis-à-vis de trois variétés de Pomme de terre. *Acta. Phytopath. Acad. Sci. Hung.*, **6**, 165-168.

PARSONS P. A., 1962. Maternal age and development variability. *J. exp. Biol.*, **19**, 251-260.

REYNOLDS J. M., 1945. On the inheritance of food effects in a flour beetle, *Tribolium destructor. Proc. Royal Soc., London*, B, **132**, 438-451.

TROUVELOT B., LACOTTE H., DUSSY J., THENARD J., 1933. Les qualités alimentaires des plantes nourricières du *Leptinotarsa decemlineata* et leur influence sur le comportement de l'insecte. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **197**, 355-356.

WARDOJO S., 1969. Artificial diet without crude plant material for two oligophagous leaf feeders (*Leptinotarsa decemlineata, Pieris brassicae*). *Ent. exp. and appl.*, **12**, 698-702.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, **7** (2), 247-264.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DANS LA NATURE DE L'UTILISATION COMBINÉE DE *BEAUVERIA BASSIANA* ET D'INSECTICIDES A DOSE RÉDUITE CONTRE *LEPTINOTARSA DECEMLINEATA*

J. FARGUES

avec la collaboration technique de J. P. CHAMOUX, H. de CONCHARD et H. DELMAS

Station de Recherches de Lutte biologique, I. N. R. A.,
La Minière, Guyancourt,
78000 Versailles

RÉSUMÉ

L'intérêt de l'utilisation combinée « *Beauveria bassiana*-insecticide à dose réduite », dans la lutte contre le doryphore, a été étudié sur le terrain suivant un dispositif du type blocs complets avec pour unité expérimentale soit le plant de Pomme de terre, soit la tige, encagés.

L'association au champignon d'Azinphos éthyle ou de Carbaryl à dose réduite ne confirme pas, dans le cas des larves de *Leptinotarsa decemlineata*, la thèse de la prédisposition à l'infection et du synergisme d'action entre une préparation biologique et un insecticide chimique. Quel que soit le stade larvaire traité (L_3 ou L_4) et quel que soit l'âge des larves au sein d'un même stade (L_3 jeunes ou âgées) le traitement mixte n'a pas d'activité supérieure à celle obtenue avec le composant le plus actif.

La différence de mode d'action entre l'insecticide chimique et la préparation entomopathogène est très nette, dans le premier cas la mortalité est rapide, dans le second, elle intervient au cours des divers stades de développement du ravageur. Si l'inoculum de spores est suffisant, l'utilisation de la préparation biologique seule peut être proposée pour la lutte contre l'insecte étudié.

INTRODUCTION

Les recherches consacrées à la protection phytosanitaire contre les insectes ravageurs tendent à intégrer l'utilisation des germes entomopathogènes (HURPIN, 1974). Dans le cas des préparations cryptogamiques, leur emploi a surtout été développé en U. R. S. S., en particulier dans la lutte contre *Leptinotarsa decemlineata* SAY. (Coléoptères, *Chrysomelidae*) (FERRON, 1970).

Les travaux de LAPPA (1959) ayant souligné l'importance de l'état physiologique de l'insecte-hôte sur l'évolution du processus infectieux, TELENGA (1964) a proposé d'associer au champignon des doses réduites d'insecticide chimique. A la suite des expérimentations de terrain par traitement mixte *Beauveria bassiana* (Hyphomycète) + DDT, effectuées par TELENGA et ses collaborateurs (1967) et des travaux plus théoriques de PRISTAVKO (1966), les auteurs soviétiques ont conclu que l'affaiblissement physiologique de l'insecte, consécutif à l'intoxication insecticide, favorise le développement de la mycose. Cette méthode présente un double intérêt. Sur le plan pratique, l'association champignon + insecticide à doses réduites permettrait de maintenir une efficacité constante des interventions phytosanitaires indépendamment des conditions climatiques et de l'état sanitaire des populations de ravageurs. Sur le plan fondamental, il s'agit de créer des « conditions de prédisposition » artificielles préconisées dès 1956 par VAGO.

Les résultats obtenus en France, dans le cas de l'infection des larves de *Melolontha melolontha* L. (Coléoptère, *Scarabeidae*) par *Beauveria tenella* (DELACR.) SIEM. en présence de doses réduites de HCH ou d'insecticides organo-phosphorés (FERRON, 1971 *a*, 1971 *b*) confirment la thèse du synergisme d'action. Par contre, les travaux de laboratoire sur le modèle soviétique ont montré que le DDT n'est pas un excellent agent prédisposant à la mycose à *B. bassiana* chez les larves de doryphore (FARGUES, 1972 *a*). Les problèmes ainsi soulevés ont été discutés par ailleurs (FARGUES, 1973). Toutefois, l'importance de ce thème de recherche nous a conduit à poursuivre l'expérimentation sur le terrain, en associant au *B. bassiana* non plus du DDT, mais des insecticides tels que l'Azinphos éthyle (organo-phosphoré) et le Carbaryl (Carbamate). Afin de nous placer dans les conditions d'infection susceptibles de se produire lors du traitement d'une population larvaire hétérogène (exuviation plus ou moins proche), nous avons traité des larves de différents stades (3^{e} et 4^{e}) et des larves d'âges différents (larves L_3 : jeunes et âgées en prémue).

I. — TECHNIQUES ET DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Le protocole expérimental était du type « blocs complets sans répétition », chaque dispositif comprenant 4 blocs. La variété de Pomme de terre Ackersegen a été choisie en raison : de la bonne tenue de son feuillage en cours de végétation, permettant des expérimentations en fin de saison, et de sa résistance au mildiou. Pour faciliter les observations ou les prises d'échantillons au champ, les plants ont été disposés à espacements inter-rangs et interlignes équidistants de 1 m. L'unité expérimentale était le plan traité, isolé par 4 plants indemnes de toute intervention. Chacun des 4 blocs correspondants a été entouré de 3 rangs de bordure.

Afin de disposer d'un matériel « insecte » très homogène, nous avons recueilli des pontes dans la nature et conduit l'élevage des larves, destinées aux infestations artificielles, dans des cages placées en enceintes climatisées. Nous avons constitué des lots de 25 larves L_4 ou de 20 larves L_3 par répartition au hasard d'individus, prélevés dans une population de larves ayant mué au cours de 16 heures consécutives, puis placé les insectes sur le feuillage, au champ, dans la matinée du jour de traitement.

En fin de journée, nous avons traité les plants jusqu'au ruissellement à l'aide de pulvérisateurs à main à jet réglable. La préparation biologique était une suspension aqueuse de conidiospores de *B. bassiana* souche n° 18 cultivée sur milieu nutritif gélosé en boîtes de Roux. A la suite d'essais préliminaires, nous avons considéré comme dose normale d'emploi la suspension titrée à 1×10^{13} spores/hl. Les traitements insecticides ont été réalisés, soit à l'aide d'une émulsion à 40 p. 100 de matière active d'Azinphos éthyle, soit avec une poudre mouillable à 85 p. 100 de matière active de Carbaryl. Les doses normales étaient de 40 g M.A./hl pour l'organo-phosphoré et de 75 g M.A./hl pour le Carbamate.

Pour contrôler les effets des traitements jusqu'à la sortie des imagos issus des individus survivants, nous avons eu recours à des cages et des tubes d'enfouissement et de nymphose.

Les observations sur larves du dernier stade ont été réalisées dans des cages constituées d'une base en bois de forme carrée (60 × 60 cm) avec un rebord de 10 cm de hauteur ; sur cette base s'adaptait un cylindre en grillage métallique (hauteur = 60 cm, diamètre = 60 cm et mailles de de 2 mm) coiffé d'un couvercle grillagé. La base était elle-même formée de 2 éléments qui s'emboitaient et présentaient une échancrure médiane, afin d'enserrer les tiges du plant (fig. 1).

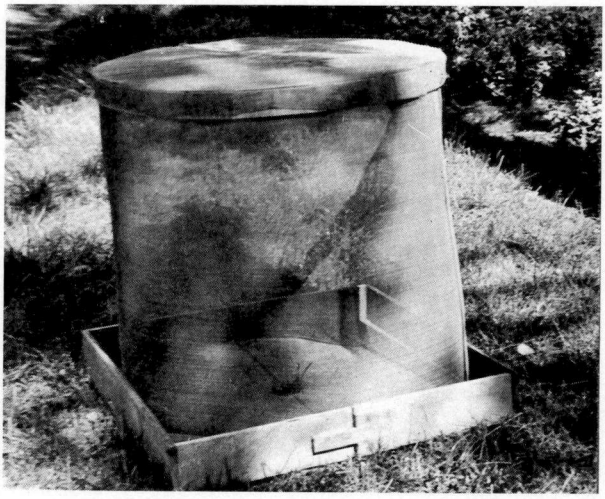


FIG. 1. — *Cage cylindrique permettant d'isoler un plant de pomme de terre, utilisée pour les essais sur larves du 4e stade*

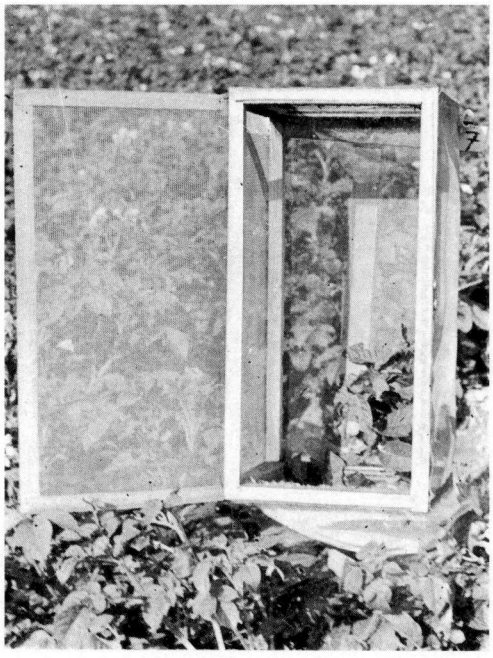


FIG. 2. — *Cage parallélépipédique isolant une tige du plant traité utilisée pour les essais sur larves du 3e stade*

L'étanchéité du système était assurée avec du coton cardé au niveau de l'insertion des tiges. Les essais sur larves du 3e stade ont été conduits dans des cages à armature parallélépipédique en bois (longueur 40, largeur 20 et hauteur 20 cm, fig. 2) supportant sur 5 faces une toile de treillis en matière plastique à mailles de 2 mm. A la base, un voile en mousseline permettait d'isoler une tige du plant traité. L'ensemble était maintenu en place par une potence. Les relevés trihebdomadaires ont été faits au laboratoire après section du collet de la tige encagée. Après contrôle, la cage et les larves ont été ramenées dans le champ et disposées sur une autre tige du même plant de Pomme de terre, de sorte qu'il y a eu rotation du manchon à chaque contrôle sur les diverses tiges d'un même plant.

Lorsque les larves quittaient les folioles, en fin de développement épigé, elles étaient prélevées de l'un ou l'autre des dispositifs précédents, pour être mises dans des tubes grillagés, garnis de terre et bouchés aux extrémités. Ces tubes étaient à demi enfouis au pied du plant, afin de suivre l'évolution de la maladie dans des conditions proches de celles du sol en place. Les cadavres en stade L_3 ou L_4 étaient eux-mêmes placés en surface du sol dans des tubes identiques.

L'interprétation statistique des résultats a été effectuée, après transformation des pourcentages de mortalité ou des cas de mycose en valeurs angulaire (arc sin $\sqrt{\text{p. 100}}$), par l'analyse de variance des moyennes et leur comparaison à l'aide du test de Newman et Keuls (DAGNELIE, 1970; SNEDECOR et COCHRAN, 1971).

II. — RÉSULTATS

A. — *Expérimentation sur larves du 4e stade*

Les traitements ont compris les 6 variantes suivantes : insecticide à dose normale (Ins. N), insecticide à dose réduite (Ins. N/x), *B. bassiana* à dose normale (Beauv. N), *B. bassiana* à la dose réduite (Beauv. N/y), association *B. bassiana* à dose réduite et insecticide à dose réduite (Comb.) et témoin (T).

1. *Efficacité des traitements. Mortalité totale.*

Le critère retenu a été la mortalité totale sans distinction du type de développement microbien sur le cadavre de l'insecte.

Essai 1.

L'Azinphos éthyle (Az. N = 40 g M.A./hl et Az. N/10 = 4 g M.A./hl) a été associé au *B. bassiana* (Beauv. N = 1×10^{13} spores/hl et Beauv. N/10 = 1×10^{12} spores/hl. Les résultats ne figurent qu'en mortalité larvaire (fig. 3, tabl. 1) car le nombre de larves perdues en cours d'enfouissement a dépassé 10 p. 100 des effectifs dans certains lots. On constate, pendant la vie épigée des larves, que l'organo-phosphoré à dose normale a un effet léthal très rapide (presque 100 p. 100 de mortalité en 24 heures) qui reste supérieur aux mortalités obtenues dans les autres variantes. L'Azinphos éthyle à dose réduite a aussi une activité sensible dès le 1er jour qui suit le traitement, alors que la mortalité dans les lots contaminés par *Beauveria* est différée et ne devient significative qu'après une semaine. Pendant les 7 premiers jours, la mortalité provoquée par l'association des doses réduites des 2 produits ne diffère pas significativement de celle causée par l'insecticide seul à dose réduite. Au moment où les larves survivantes se sont enfouies (10e jour) l'effet du champignon à dose normale est supérieur aux effets respectifs de l'Azinphos à dose réduite, du germe à dose réduite et de l'association, les différences entre ces derniers n'étant pas significatives.

L'association de *B. bassiana* et d'Azinphos éthyle ne provoquant aucun synergisme, l'essai ultérieur a été effectuée avec du Carbaryl, carbamate utilisé conjointement à la Beauverine par les chercheurs soviétiques aux doses réduites de 3 ou 5 fois.

TABLEAU I

Tableau récapitulatif de la signification des différences de mortalités provoquées par les divers traitements sur larves L_4

— méthode des blocs complets, analyse de variance à partir des données transformées en valeur angulaire et comparaison des moyennes suivant le test de Newman et Keuls ;

— différences : > supérieure ; < inférieure ; — non significative ; + significative ; ++ hautement significative ;

— réduction des doses de produits :

essai 1 *Beauveria* N/10 et Azinphos éthyle N/10
essai 2 *Beauveria* N/10 et Carbaryl N/5
essai 3 *Beauveria* N/3 et Carbaryl N/3 ;

— date des contrôles en jours après le traitement : J + *n* jours.

Différences	Mortalité larvaire cumulée (L_4)			Mortalité différée (L_4, PN, N)	
	Essai 1 J + 10	Essai 2 J + 12	Essai 3 J + 8	Essai 2 J + 24	Essai 3 J + 27
Par rapport au témoin					
– insecticide dose normale	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++
– insecticide dose réduite	> ++	—	> ++	—	> ++
– *Beauveria* dose normale	> ++	—	> ++	> ++	> ++
– *Beauveria* dose réduite	> ++	—	> ++	> ++	> ++
– Combiné doses réduites	> ++	—	> ++	> ++	> ++
Par rapport à l'insecticide N					
– Insecticide dose réduite	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++
– *Beauveria* dose normale	< ++	< ++	—	—	> +
– *Beauveria* dose réduite	< ++	< ++	—	—	> +
– Combiné doses réduites	< ++	< ++	—	—	> +
Par rapport à l'insecticide dose réduite					
– *Beauveria* dose normale	> +	—	> ++	> ++	> ++
– *Beauveria* dose réduite	—	—	> +	> ++	> ++
– Combiné doses réduites	—	—	—	> ++	> ++
Par rapport au *Beauveria* N					
– *Beauveria* dose réduite	< ++	—	—	—	—
– Combiné doses réduites	< ++	—	—	—	—
Par rapport au *Beauveria* dose réduite					
– Combiné doses réduites	—	—	—	—	—

Fig. 3

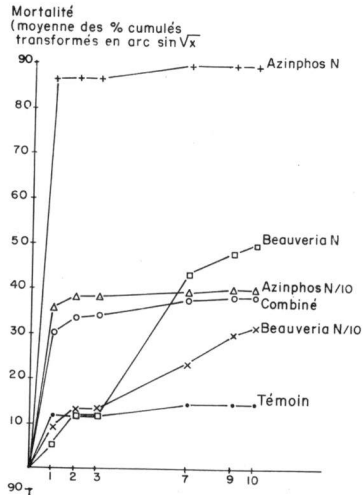


Fig. 4

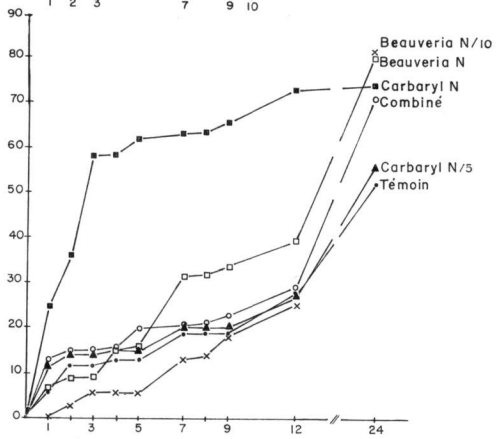


Fig. 5

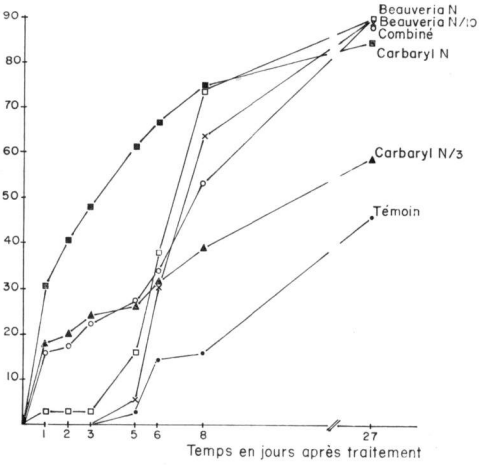


FIG. 3, 4 et 5. — *Étude de la mortalité cumulée en fonction du temps après traitements des larves en début de 4e stade*

Dispositif de type blocs complets à 6 variantes expérimentales

FIG. 3 — *Beauveria* (N = 1 × 10^{13} spores/hl) et Azinphos éthyle (N = 40 g M.A./hl)

FIG. 4 et 5. — *Beauveria* (N = 1 × 10^{13} spores/hl) et Carbaryl (N = 75 g M.A./hl)

Essai 2.

La dose de Carbaryl a été réduite de 5 fois (Carbaryl N/5 = 15 g M.A./hl) et celle de *Beauveria* de 10 fois (Beauv. N/10 = 1 × 10^{12} spores/hl). L'analyse des résultats (fig. 4, tabl. 1) a permis de faire les constatations suivantes : Seul le traitement Carbaryl à dose normale est efficace sur les larves dès le 3e jour. L'absence de signification des autres traitements pendant la vie aérienne des larves s'explique par une mortalité non négligeable dans les lots témoins et par une réponse moins rapide des insectes contaminés 2 jours après la mue L_3/L_4, les traitements n'ayant pu avoir lieu qu'après ce délai suivant la mise en place du dispositif, du fait de pluies persistantes. Par contre, l'analyse de la mortalité jusqu'à la mue imaginale (en larve L_4, prénymphe et nymphe) montre que l'action du champignon est différée, atteignant les individus pendant leur développement dans le sol. Au bout de 24 jours, l'efficacité du germe à dose normale ou à dose réduite est aussi élevée que celle de l'insecticide à dose normale (mortalité en *Beauv.* N de 100-96-92 et 96 p. 100, en *Beauv.* N/10 de 100-96-96 et 96 p. 100 et en Carbaryl N de 92-88-96 et 92 p. 100). En outre, il est possible de diminuer de 10 fois l'inoculum cryptogamique sans augmenter la proportion d'adultes survivants.

La dose réduite de Carbaryl (N/5 = 15 g M.A./hl) n'a pas d'effets par rapport aux témoins. Donc, si la dose de Carbaryl est vraiment sublétale, l'insecticide ne joue aucun rôle prédisposant à la mycose : la mortalité causée par le traitement mixte ne diffère pas significativement de la mortalité provoquée par le seul champignon à la même dose.

Essai 3.

Les doses réduites de Carbaryl (N/5) et de *Beauveria* (N/10) n'ayant pas d'activité significative sur les insectes pendant leur développement larvaire épigé, nous avons diminué de 3 fois seulement les doses utilisées dans le 3e essai sur larves L_4 (Beauv. N/3 = 3 × 10^{12} spores/hl et Carbaryl N/3 = 25 g M.A./hl). Dans ces conditions, les divers traitements ont été hautement significatifs par rapport au témoin, aussi bien à la fin du développement larvaire, au bout de 8 jours, qu'après la mue imaginale, soit après 27 jours (fig. 5, tabl. 1).

L'activité de *B. bassiana* n'est sensible qu'à partir du 6e jour suivant les pulvérisations, mais atteint une grande efficacité dès le 8e jour (respectivement 96-100-60 et 96 p. 100 de mortalité à 1 × 10^{13} spores/hl et 76-88-68 et 88 p. 100 à 3 × 10^{12} spores/hl, contre 0-8-6 et 6 p. 100 dans les lots témoins. En fin d'expérimentation, la mortalité est totale dans les 2 séries de lots contaminés par *Beauveria*, celle des témoins étant de 52-60-48 et 48 p. 100 (sol très humide). Si l'action toxémique du Carbaryl est rapide, à dose réduite (25 g M.A./hl) la mortalité après l'enfouissement des larves et la nymphose est inférieure à celle des autres traitements, exceptés les témoins.

Pendant les 5 premiers jours, l'activité de l'association de *Beauveria* et de Carbaryl à doses réduites est supérieure à celle du *Beauveria* seul, mais elle est alors semblable à celle de l'insecticide seul à dose réduite. Huit jours après contamination, aussi bien qu'au terme des contrôles, la mortalité provoquée par le traitement mixte ne diffère pas significativement de celle causée par le seul champignon à dose réduite. L'association du champignon (3 × 10^{12} spores/hl) et du Carbaryl (25 g M.A./hl) n'assure donc aucun synergisme d'action.

TABLEAU 2

Cas de mycose au stade larvaire le 8e jour après traitement de jeunes larves L_4 par Beauveria *et Carbaryl*

Traitements (doses)		Cas de mycose (en %) Blocs				Moyenne des cas de mycose (arc sin $\sqrt{x}$)		Signification des différences de cas de mycose suivant le test de Newman et Keuls					
Beauveria bassiana (spores/hl)	Carbaryl (g M.A./hl)	B_1	B_2	B_3	B_4			Comb.	Beauv. N/3	Beauv. N	k	R.st. 0,01	R.st. 0,05
0	0	0	0	0	0	0	T						
0	25	0	0	0	0	0	Carb. N/3						
0	75	0	0	0	0	0	Carb. N	34,30**	55,70**	63,10**	4	13,97	11,20
$3 \cdot 10^{12}$	25	44	28	36	20	34,3	Combiné		21,40**	28,80**	3	13,07	10,16
$3 \cdot 10^{12}$	0	64	76	56	76	55,7	Beauv. N/3			7,40	2	11,32	8,41
$1 \cdot 10^{13}$	0	92	76	56	88	63,1	Beauv. N						

N. B. : La ligne pointillée indique le sens de lecture des significations.

TABLEAU 3

Cas de mycose cumulés (larves L_4, prénymphes, nymphes)
27 jours après traitement des larves L_4 par Beauveria *et Carbaryl*

Traitements (doses)		Cas de mycose (en %) Blocs				Moyenne des cas de mycose (arc sin $\sqrt{x}$)		Signification des différences de cas de mycose suivant le test de Newman et Keuls					
Beauveria bassiana (spores/hl)	Carbaryl (g M.A./hl)	B_1	B_2	B_3	B_4			Comb.	Beauv. N/3	Beauv. N	k	R.st. 0,01	R.st 0,05
0	0	0	0	0	0	0	T						
0	25	0	0	0	0	0	Carb. N/3						
0	75	0	0	0	0	0	Carb. N	48,00**	67,20*	75,40**	4	14,16	11,36
$3 \cdot 10^{12}$	25	68	64	44	44	48,0	Combiné		19,20**	27,40**	3	13,13	10,30
$3 \cdot 10^{12}$	0	84	84	84	88	67,2	Beauv. N/3			8,20	2	11,48	8,53
10^{13}	0	96	80	00	88	75,4	Beauv. N						

N. B. : La ligne pointillée indique le sens de lecture des significations.

2. *Efficacité des traitements. Développement de la maladie.*

Au lieu du critère « mortalité totale », on peut ne retenir que la mortalité de type muscardine (PRISTAVKO, 1966) dans l'hypothèse où il serait souhaitable d'obtenir le plus grand nombre possible de cadavres mycosés pour assurer une multiplication des foyers d'infection à la surface ou dans le sol. Ainsi, dans le 3e essai, on note que les larves mycosées en surface du sol sont moins nombreuses dans les lots traités avec l'association des doses réduites que dans les lots contaminés par le seul germe à dose réduite (tabl. 2) et que les cas de mycose dans le sol sont plus nombreux après traitement cryptogamique qu'après traitement mixte (tabl. 3).

Il importe toutefois de signaler que les conditions microclimatiques ont une influence directe sur la sporulation du champignon en surface du cadavre. Ainsi, en 1973 les essais se sont déroulés dans des conditions caractérisées par une période de temps sec (minima diurnes de 30 p. 100 d'humidité relative, mesures effectuées au niveau des plants de pomme de terre) suivie d'une période de temps humide (H. R. toujours supérieure à 60 p. 100). Au cours de la 1re période, nous n'avons pas observé plus de 20 p. 100 de cas de mycose, bien que les larves contaminées aient présenté de nombreuses taches de mélanisation et que la mortalité différée ait été très élevée. Dans la seconde période, les cas de mycose ont été nombreux comme l'ont montré les tableaux 2 et 3. Donc, en surface ou dans un sol très sec les cadavres se dessèchent, au contaire par temps humide le champignon achève son développement saprophytique.

B. — *Expérimentation sur larves du 3e stade*

L'étude de l'action combinée *Beauveria*-insecticide à doses réduites a été faite parallèlement avec des L_3 jeunes et des L_3 âgées en prémue au moment du traitement, de sorte que les 6 variantes des essais précédents ont été doublées en fontion de l'âge des larves. Chacun des 4 blocs du dispositif expérimental présentait donc 12 variantes. Les doses normales de produits biologique ou chimique sont restées identiques à celles utilisées dans les essais sur larves du 4e stade. Par contre, à la suite de tests préliminaires, les réductions de doses retenues ont été de 10 fois pour le germe (1×10^{12} spores/hl) et de 5 fois pour le Carbamate (15 g M. A. de Carbaryl/hl). Les résultats, exposés dans la figure 6, concernent d'une part l'influence de l'âge des larves, d'autre part la comparaison des effets de l'association à ceux des deux composants.

1. *Influence de l'âge des larves.*

La mortalité en fonction du temps (fig. 6) traduit une action inhibitrice de la mue L_3/L_4 quand les traitements ont été effectués sur des L_3 âgées en prémue. Les différences de réponse observées entre L_3 jeunes et L_3 âgées apparaissent dans le tableau 4.

Seule l'efficacité du Carbaryl à dose normale (75 g M. A./hl) est analogue quel que soit l'âge des larves, car les plus âgées, proches de la mue L_3/L_4, sont plus résistantes à la dose réduite que les jeunes du même stade.

Les larves traitées par le champignon à dose normale ou réduite en fin de 3e stade sont moins sensibles à la mycose que celles contaminées en début du même stade. La mue assure ainsi une protection des insectes traités en prémue ; cette protection est encore très importante pendant le stade qui suit celui du traitement (soit

TABLEAU 4

Rôle de la mue : signification des différences d'activité des traitements suivant l'âge des larves traitées, L_3 jeunes ou L_3 âgées en prémue

(analyse de variance à 2 voies suivie du test de Newman et Keuls)

Variantes expérimentales comparées : L_3 jeunes par rapport aux L_3 prémues	Données	Différences d'efficacité des traitements sur L_3 (jeunes ou âgées) au cours du développement des individus contaminés							
		J + 3	J + 5	J + 7	J + 9	J + 11	J + 14	J + 16	J + 30
Témoin	Δ angulaire	0	3,22	1,85	3,85	3,85	2,48	2,48	0
	R.st. 0,01		18,40	17,51	19,10	17,66	18,01	18,48	
	R.st. 0,05		13,67	13,00	14,19	13,12	13,38	13,73	
	signification	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbaryl N	Δ angulaire	0,75	0	0	0	0	0	0	0
	R.st. 0,01	20,23							
	R.st. 0,05	15,03							
	signification	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbaryl N/5	Δ angulaire	18,60	15,47	14,37	14,38	17,60	15,35	15,35	1,10
	R.st. 0,01	23,40	18,40	21,60	23,57	21,79	22,22	22,80	15,95
	R.st. 0,05	18,15	13,67	17,33	18,90	17,48	17,83	18,29	11,85
	signification	> +	> +	—	—	> +	—	—	—
Beauveria N	Δ angulaire	7,82	32,25	43,95	19,15	33,22	28,53	27,43	0
	R.st. 0,01	23,40	22,70	23,58	23,57	23,79	24,26	24,89	
	R.st. 0,05	18,15	18,21	19,35	18,90	19,52	19,91	20,43	
	signification	—	> + +	> + +	> +	> + +	> + +	> + +	—
Beauveria N/10	Δ angulaire	3,22	10,65	26,82	28,95	30,32	26,37	27,10	3,23
	R.st. 0,01	20,23	21,05	21,60	23,57	21,79	22,22	22,80	15,95
	R.st. 0,05	15,03	16,51	17,33	18,90	17,48	17,83	18,29	11,85
	signification	—	—	> + +	> + +	> + +	> + +	> + +	—
Carb. N/5 + *Beauv.* N/10	Δ angulaire	17,33	14,87	31,30	22,87	19,13	18,12	18,12	3,22
	R.st. 0,01	23,40	21,05	21,60	23,57	21,79	22,22	22,80	15,95
	R.st. 0,05	18,15	16,51	17,33	18,90	17,48	17,83	18,29	11,85
	signification	—	—	> +	> +	> +	> +	> +	—

en L_4). Cependant, la mortalité différée au cours de la phase souterraine (prénymphes et nymphes), est telle que la proportion d'adultes survivants est du même ordre dans les deux cas.

Avec l'association *Beauveria* + Carbaryl à doses réduites, le phénomène est semblable ; la sensibilité des jeunes L_3 est plus grande que celle des larves âgées, mais la mortalité différée, dans le sol, atténue les différences initiales.

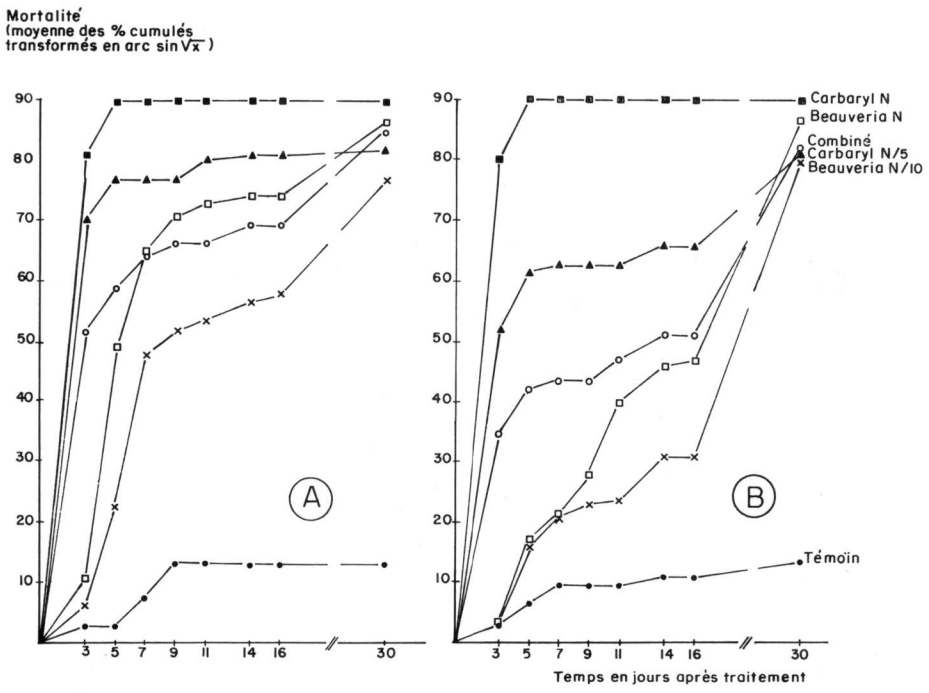


FIG. 6. — *Étude de la mortalité cumulée en fonction du temps après traitements en début ou en fin de 3e stade larvaire* (A = L_3 jeunes, B = L_3 prémues)

Dispositif de type blocs complets à 12 variantes expérimentales
Beauveria N = 1×10^{13} spores/hl et Carbaryl N = 75 g M.A./hl

2. *Efficacité de l'association* Beauveria + *Carbaryl* (tabl. 5, fig. 6).

Au cours de la vie aérienne du ravageur, la mortalité assurée par l'association est inférieure à celle provoquée par l'insecticide à dose normale. Quel que soit l'âge des larves lors de la pulvérisation, la combinaison des deux matières actives présente une activité inférieure à celle de la dose réduite de Carbaryl jusqu'au 5e jour qui suit l'application. Toutefois, les différences observées ne sont plus significatives au-delà de cette date pour les insectes traités en L_3 jeunes, alors qu'elles le restent pour ceux traités en prémue.

La réponse au traitement mixte est supérieure à celle du *Beauveria* à dose normale pendant les 5 premiers jours. Au-delà du 5e jour l'activité de cet inoculum sur les larves traitées au stade L_3 jeune est égale puis supérieure à celle obtenue par l'association des deux produits ; avec les larves L_3 âgées, ce phénomène ne s'observe qu'à

TABLEAU 5

Tableau récapitulatif de la signification des différences de mortalités provoquées par les divers traitements sur larves L_3 jeunes ou âgées en prémue

— méthode des blocs complets, analyse de variance à 2 voies à partir des données transformées en valeur angulaire et comparaison des moyennes suivant le test de Newman et Keuls.
— différences : > supérieure ; < inférieure ; — non significative ; + significative ; ++ hautement significative.
— date des observations en jours après le traitement : J + *n* jours

Différences	Signification des différences de mortalité au cours du développement des individus traités															
	J + 3		J + 5		J + 7		J + 9		J + 11		J + 14		J + 16		J + 30	
	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm	L_3	pm
Par rapport au témoin																
– Carbaryl N	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++
– Carbaryl N/5	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++
– *Beauveria* N.....	—	—	> ++	—	> ++	—	> ++	—	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++
– *Beauveria* N/10	—	—	> ++	—	> ++	—	> ++	—	> ++	—	> ++	> +	> ++	> ++	> ++	> ++
– Combinaison *Beauv.* N/10 + Carb. N/5 ..	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++	> ++
Par rapport à l'insecticide à dose normale N																
– Carbaryl N/5	—	< ++	—	< ++	< +	< ++	—	< ++	—	< ++	—	< ++	—	< ++	—	—
– *Beauveria* N.....	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< +	< ++	< +	< ++	—	< ++	—	< ++	—	—
– *Beauveria* N/10	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	—	—
– Combinaison	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< +	< ++	—	—
Par rapport à l'insecticide à dose réduite N/5																
– *Beauveria* N.....	< ++	< ++	< ++	< ++	—	< ++	—	< ++	—	< ++	—	< +	—	< +	—	—
– *Beauveria* N/10	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	< ++	—	—
– Combinaison	< +	< +	< +	< +	—	< +	—	< +	—	—	—	—	—	—	—	—
Par rapport au *Beauveria* à dose normale N																
– *Beauveria* N/10	—	—	< ++	—	< +	—	< +	—	< +	< +	—	< +	—	< +	—	—
– Combinaison	> ++	> ++	—	> ++	—	> ++	—	> +	—	—	—	—	—	—	—	—
Par rapport au *Beauveria* à dose réduite N/10																
– Combinaison	> ++	> ++	> ++	> ++	> +	> ++	—	> +	—	> ++	—	> +	—	> +	—	—

partir du 9e jour suivant le traitement. Par rapport à la dose réduite de *Beauveria* (1×10^{12} spores/hl) la combinaison des doses réduites conserve une efficacité supérieure pendant toute la vie aérienne des larves contaminées en L_3 âgées, cette supériorité ne se maintenant que jusqu'au 9e jour pour les larves pulvérisées en L_3 jeunes.

Si l'on considère le développement épigé des larves, l'association *Beauveria* + Carbaryl est donc plus efficace que le *Beauveria* seul à dose réduite sur les larves âgées. Mais l'effet de l'association sur les larves en prémue est inférieur à celui du Carbaryl seul à dose réduite. Par conséquent, il y a absence de synergisme. Le rôle protecteur de l'exuviation est plus sensible vis-à-vis du traitement cryptogamique à dose réduite, que vis-à-vis du traitement mixte ; toutefois, après enfouissement des larves L_4 et nymphose, les différences entre les diverses variantes de traitement ne sont plus significatives, quelle que soit la dose de *Beauveria* ou de Carbaryl, utilisés seuls ou en association.

3. *Types de mortalité.*

En se référant aux différents types de mortalité définis par PRISTAVKO (1966) (tabl. 6) il est observé que l'interférence de la mue larvaire L_3/L_4 sur l'infection cryptogamique a pour conséquence de différer la mortalité du type muscardine aux stades de développement suivant celui qui a subi la pulvérisation. La mortalité par mycose est d'autant plus différée, que les larves sont âgées au moment du traitement et que la dose de *Beauveria* est faible.

TABLEAU 6

Répartition des types de mortalité provoqués par les différents traitements au cours du développement larvaire et nymphal des individus traités en début ou en fin de 3e stade larvaire

(pourcentages sur l'ensemble des insectes morts dans les 4 blocs de chaque variante expérimentale)
Larves L_3 jeunes = L_3 J ; Larves L_3 en prémue = L_3 pm

Mortalité		Traitements									
		Beauveria N		*Beauveria* N/10		Combinaison		Carbaryl N/5		Carbaryl/N	
Stades	Types	L_3 J	L_3 pm	L_3 J	L_3 pm	L_3 J	L_3 pm	L_3 J	L_3 pm	L_3 J	L_3 pm
L_3	mycose	76,25	8,75	50,00	7,41	8,57	7,25	—	—	—	—
	bactérien	—	2,50	1,28	1,23	—	—	—	—	—	—
	insecticide	—	—	—	—	74,29	44,93	96	75,76	100	67,50
L_4	mycose	17,50	45,00	21,79	19,75	5,71	11,59	—	—	—	—
	bactérien	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—
	insecticide	—	—	—	—	—	—	—	21,21	—	32,50
Prénymphe	mycose	3,75	30,00	19,23	30,86	8,57	20,29	—	—	—	—
	bactérien	2,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	insecticide	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nymphe	mycose	—	8,75	2,57	30,85	—	15,94	—	—	—	—
	bactérien	—	2,50	5,13	9,88	2,86	—	—	3,03	—	—
	insecticide	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Après traitement par le Carbaryl seul à dose réduite de L_3 âgées, quelques individus échappent à l'action brutale de l'insecticide, muent et meurent au stade L_4 jeune.

Lorsque l'association *Beauveria* + Carbaryl à doses réduites est utilisée, deux phénomènes se succèdent : d'une part l'action toxémique brutale de type insecticide sur les larves encore au 3e stade, d'autre part le développement ultérieur de la mycose.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ces résultats illustrent la différence de mode d'action entre un pesticide chimique et une préparation entomopathogène. Alors que dans le premier cas la mortalité est rapide, dans le second, elle est différée au cours des divers stades de développement du ravageur. Le traitement biologique appliqué en début de 3e stade larvaire atteint la plupart des insectes avant la mue L_3/L_4 ; sur des L_3 âgées en prémue ou des L_4 jeunes, les larves meurent, dans une forte proportion, en cours d'enfouissement dans le sol à l'état prénymphal. La mortalité différée, dont les mécanismes pathologiques ont été récemment mis en évidence (FARGUES et VEY, 1974), survient essentiellement au cours du ou des deux stades qui suivent la contamination. L'expérimentation de terrain confirme donc les travaux de laboratoire (FARGUES, 1972 *b*) : la mortalité différée est étroitement liée à la dose de spores utilisée et à la proximité de la mue de l'insecte-hôte au moment du traitement. De nombreux auteurs ont montré une corrélation entre la quantité de spores et le taux de mortalité cumulée (MÜLLER-KÖGLER, 1965). Par contre, le problème de la coïncidence entre la phase infectieuse du germe (pénétration du tégument) et la phase réceptive de l'hôte (intermue) n'a pas retenu suffisamment l'attention des spécialistes des mycoses chez les insectes à cycle larvaire rapide (PETCU, 1967 ; BAJAN et KMITOWA, 1969 ; KMITOVA *et al.*, 1972) comme en témoignent les récentes revues bibliographiques de ROBERTS et YENDOL (1971), de HARSHBARGER et FAUST (1973) ou de TANADA (1973). Enfin, nos essais ont montré qu'au terme du développement larvaire et nymphal des insectes, l'efficacité des traitements cryptogamiques est très élevée aux doses de 1×10^{13} spores/hl, 3×10^{12} spores/hl et même de 1×10^{12} spores/hl.

L'association du champignon et d'un insecticide à des doses réduites n'assure pas une mortalité supérieure à celle obtenue avec le composant qui s'avère le plus actif, quel que soit le stade traité (L_3 ou L_4) et quel que soit l'âge des larves au sein d'un même stade (L_3 jeunes ou L_3 âgées). Ces observations de terrain rejoignent celles des essais de laboratoire dans lesquels nous avions associé au germe du DDT (FARGUES, 1972 *a*, 1973). Par conséquent, la thèse de la prédisposition à l'infection et du synergisme d'action entre une préparation entomopathogène et un insecticide chimique, utilisés l'un et l'autre à dose réduite, n'est pas confirmée dans le cas présent. Cette divergence avec les conclusions des travaux soviétiques (cf. BENZ, 1971) n'est cependant pas totale, puisque TRON (1967) obtient sur le doryphore des résultats comparables aux nôtres, en associant à la Beauverine des doses réduites de Sevin (Carbaryl).

La méthode associant à une préparation cryptogamique un insecticide à dose réduite, tel que le DDT, l'Azinphos éthyle ou le Carbaryl dans la protection phytosanitaire contre le doryphore, ne doit donc pas être retenue en vue des objectifs suivants :

— création d'un effet synergique (l'efficacité de l'association est presque toujours inférieure à celle de l'un ou l'autre des produits utilisés isolément) ;
— prédisposition à la maladie (la mortalité de type mycose est généralement plus faible après traitement mixte qu'après contamination fongique seule).

Par contre, si le but recherché est une destruction rapide des ravageurs, l'association au germe de doses réduites d'insecticide peut permettre d'atteindre dans de brefs délais une fraction de la population, l'autre fraction étant détruite au cours du développement des insectes traités, par suite de l'action différée du champignon.

Cette étude analytique de terrain et les essais de plein champ en cours de réalisation devraient nous permettre de préciser les modalités pratiques d'utilisation contre le doryphore d'une préparation à base de *Beauveria bassiana*.

Reçu pour publication en février 1975.

REMERCIEMENTS

Nous remercions MM. GALLÉ, GOUJET et PONSARDIN pour leur participation respective à la mise au point des cages, à la programmation sur calculatrice électronique et à la mise en place du dispositif de terrain.

SUMMARY

FIELD EXPERIMENTS ON THE COMBINATION OF *BEAUVERIA BASSIANA* WITH INSECTICIDES FOR THE CONTROL OF *LEPTINOTARSA DECEMLINEATA*

Tests were conducted with larvae of *Leptinotarsa decemlineata* in a field of potatoes (« Ackersegen » variety) to determine whether or not a synergistic effect was produced when the fungus *Beauveria bassiana* was combined with the insecticides Azinphos Ethyl or Carbaryl at varying dosage levels. Plants on which 20 L_3 or 25L_4 larvae had been placed were sprayed until run off with the various preparations. The experiments were conducted in randomized blocks with 6 variants (Insecticide at a normal dose, Insecticide at a reduced dose, *Beauveria* at a normal dose, *Beauveria* at a reduced dose, combination *Beauveria* + Insecticide at the reduced dosages, and control), for the experiments with L_4 larvae. For test with L_3 larvae, there were 12 variants since this test was made using young and old L_3 larvae. The tests were examined during the whole aerial life of the insect and the formation of the adult in the soil. The results obtained were statistically interpreted on two-way analysis of variance (one observation per cell) after arc sin $\sqrt{x}$ transformation of the mortality rates or of the number of mycosis cases, which allowed the comparison of the means by the Newman-Keuls test.

With the L_4 larvae, *B. bassiana* was active only from the 6th or 8th day after the treatment and was highly effective at the end of the adult moult in the two variants (at the normal dose and at a reduced dose). The toxic action of Azinphos Ethyl or Carbaryl was faster, being significant when compared to the check from the first day following the treatment. The combination of *Beauveria* + insecticide at reduced doses produced no synergistic action at the end of the tests.

During the first 5 days, its effectiveness was similar to the results obtained with insecticide alone at a reduced dose, consequently it was higher than that of *Beauveria* alone. The number of cases of mycosis were more important after fungus treatments than after the mixed treatment.

During the treatments of L_3 larvae, the age of the insect larvae tested was considered in order to observe the influence of moulting on the development of mycosis. After the treatment by *Beauveria* at a normal dose ($1 \cdot 10^{13}$ conidia/hl) or at a reduced dose ($1 \cdot 10^{12}$ conidia/hl) it appeared that during the aerial life of the injurious insect the old L_3 larvae were more resistant to mycosis that the young larvae of the same stage, this difference disappearing during the underground life. With the combination *Beauveria* + Carbaryl at reduced doses, a similar phenomenon was observed.

If total mortality was chosen as the criterion, regardless of its cause (mycosis, septicemia, intoxication), the effectiveness of Carbaryl (normal dose : 75 g A. M./hl) was the same whatever the larval age ; however, the older larvae were more resistant to a reduced dosage of Carbaryl (15 g/hl) than were the younger larvae of the same instar. The response to the combination of the two products varied according to the age of the larvae during the treatment. The effectiveness observed was significantly lower than that produced by the same reduced dosage of insecticide up to the 5th day after following treatment. This reduced effectiveness persisted in the tests with the older L_3 larvae, but however, disappeared when young L_3 larvae were used. The phenomena observed can be compared to the results obtained with the normal dose of *Beauveria* ($1 \cdot 10^{13}$ conidia/hl) Finally, concerning the reduced dosage of *Beauveria* ($1 \cdot 10^{12}$ conidia/hl), the combination of *Beauveria* and Carbaryl at a reduced rate retained an effectiveness that was superior during the entire aerial period of larvae infected as older L_3, but this superiority was maintained only up to the 9th day for larvae infected as young L_3. In call cases after the L_4 larvae were buried and after pupation no significant differences were observed between the different variants of treatment.

The results described showed the different modes of action of an insecticide and of an entomopathogenic preparation. In the first case, the mortality was rapid ; in the second, mortality occurred during the entire life of the insect, but eventually attained the same rate. The combination of the two products did not show an effectiveness superior to that obtained when the more active component was used alone.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAJAN C., KMITOVA K., 1969. Pathogenicity of entomogenous fungi isolated from hivernating imagines of the colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). *Ekol. Pol.*, **17**, 409-420.

BENZ G., 1971. Synergism of micro-organisms and chemical insecticides. In *Microbial control of Insects and Mites*, BURGES H. D., HUSSEY W., Acad. Press N. Y., 327-355.

DAGNELIE P., 1970. *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques.* Vol. II. Les méthodes de l'inférence statistique, 451, DUCULOT, Gembloux.

FARGUES J., 1972 *a*. Traitement mixte de larves de doryphore *Leptinotarsa decemlineata* par des spores du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. et des doses réduites d'insecticides. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, **2**, 183-193.

FARGUES J., 1972 *b*. Étude des conditions d'infection des larves de Doryphore *Leptinotarsa decemlineata* SAY. par *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. (*Fungi Imperfecti*). *Entomophaga*, **17**, 319-337.

FARGUES J., 1973. Sensibilité des larves de *Leptinotarsa decemlineata* SAY. (Col., *Chrysomelidae*) à *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. (*Fungi Imperfecti*, Moniliales) en présence de doses réduites d'insecticides. *Ann. Zool. Ecol. anim.*, **5**, 231-246.

FARGUES J., VEY A., 1974. Modalités d'infection des larves de *Leptinotarsa decemlineata* par *Beauveria bassiana* au cours de la mue. *Entomophaga*, **19**, 311-323.

FERRON P., 1970. Orientation des recherches effectuées en U. R. S. S. sur les champignons entomopathogènes. *Ann. Zool. Écol. anim.*, HS, **3**, 117-134.

FERRON P., 1971 *a*. Augmentation de la sensibilité des larves de *Melolontha melolontha* L. (Coléoptère *Scarabaeidae*) à *Beauveria tenella* (DELACR.) SIEMASZKO au moyen de quantités réduites de HCH. 4e *Coll. Intern. Pathol. Insectes, College Park. U. S. A.*, 1970, 66-79.

FERRON P., 1971 *b*. Modification of the development of *Beauveria tenella* mycosis in *Melolontha melolontha* larvae by means of reduced doses of organophosphorus insecticides. *Ent. Exp. appl.*, **14**, 457-466.

HARSHBARGER J. C., FAUST R. M., 1973. Environmental factors internal to the host that affect the success of microbial insecticides. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **217**, 131-140.

HURPIN B., 1974. Lutte microbiologique et lutte intégrée. *Proc. F. A. O., Conf. Ecol. Relat. Plant. Pest. Control.*, Rome, 1972, 207-247.

KMITOWA K., BAJAN C., WOJCIECHOWSKA M., 1972. Pathologenity of fungi, *Paecilomyces farinosus* (DICKS.) BROWN et SMITH (four forms) and *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. *Ekol. Pol.*, **20**, 413-421.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, **7** (2), 265-268.

NOTE TECHNIQUE

ÉTUDE DU STADE PUPAL DE *DACUS OLEAE* (GMEL.) AU NIVEAU DU SOL (1)

Y. LAUDEHO, C. LIAROPOULOS, C. LOUSKAS

FAO, P.O. Box 6, Kifissia,
Athènes (Grèce)

RÉSUMÉ

Les auteurs font part de la technique utilisée pour la recherche des pupes de *D. oleae* dans le sol et des premiers résultats obtenus.

Pendant les dernières générations de l'évolution annuelle des populations de *Dacus oleae* (GMEL.), la majeure partie des larves du dernier âge de la mouche de l'olive abandonne, sous l'effet de facteurs qui restent encore à déterminer, le fruit dans lequel elle a effectué son développement depuis l'œuf, pour se laisser tomber sur le sol, y pénétrer et après la mue nymphale y séjourner jusqu'à l'état adulte.

Les observations effectuées au niveau du fruit permettent d'évaluer l'importance de ce phénomène (tabl. 1) ; Dans le but de préciser le devenir des pupes ainsi formées dans le sol et leur receptivité éventuelle vis-à-vis des parasites et des prédateurs indigènes ou introduits, une première étude de *D. oleae* durant sa phase souterraine a été entreprise en Grèce.

MÉTHODE

La principale difficulté lors de la réalisation de ce travail a été la récolte des pupes elles-mêmes à partir du sol et des débris végétaux qu'il contient. En effet l'observation directe pratiquée dans le cas de *Ceratitis capitata* (WIED.) (H. G. DELMAS et R. THERMES, 1953) n'était pas envisageable si l'on désirait des séries répétées de contrôle dans des oliviers. Il fallait donc s'orienter vers des techniques de tamisage du sol.

(1) Ce travail a été réalisé dans le cadre du Projet des Nations Unies UNDP/SF/FAO/GRE 69/525 *Recherches sur les ravageurs de l'olivier en Grèce Continentale, Crète et Corfou.*

Nous utilisons un tamisage différentiel sous courant d'eau. Le tamis est réalisé par la superposition d'une grille à mailles larges permettant le passage des pupes et qui les sépare des éléments les plus gros (petites pierres, débris végétaux etc.) et d'une grille à maille plus fine qui retient les pupes et les corpuscules de même taille en laissant passer les structures les plus fines du sol.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Le contrôle de l'efficacité de la technique utilisée a été réalisé en disposant à la surface du sol des larves de *D. oleae* qui nous ont été fournies par le Centre nucléaire de Démocritos. Celles-ci, à la fin de leur évolution, quittent le milieu d'élevage pour effectuer leur mue nymphale et, lorsqu'elles sont placées sur le sol, s'enfouissent immédiatement.

La recherche des pupes ainsi formées (en nombre connu) a été faite en prélevant des échantillons de terre à différentes profondeurs. Il apparaît qu'entre 0 et 10 centimètres on est assuré de récolter de 66 à 100 p. 100 des pupes formées à partir des larves relâchées à la surface du sol. De nombreuses répétitions de ce test permettent de préciser qu'une moyenne de 83,5 p. 100 des pupes a ainsi été retrouvée.

Il est bien évident que la profondeur d'enfouissement des insectes est liée en grande partie à la texture physique du sol et que les chiffres obtenus en Grèce n'ont qu'une valeur indicative. Toutefois ces résultats sont en accord avec ceux signalés notamment en Espagne (MARTIN, 1948).

2. L'étude des populations naturelles de pupes de *D. oleae* récoltées dans le sol a été commencée plus particulièrement dans l'île d'Aguistri (indemne de tout traitement insecticide depuis plusieurs années) à l'occasion de contrôles effectués en vue de déterminer l'opportunité de lâchers de parasites destinés à combattre *D. oleae* pendant sa phase hypogée.

a) Elle permet de mettre en évidence l'importance du peuplement de pupes présent dans le sol.

A titre d'exemple nous indiquerons ici que sous un arbre de 80 m² (projection sur le sol de sa frondaison) qui supporte une récolte estimée à 80 kg alors que l'infestation totale par *D. oleae* est proche de 85 p. 100, il a été possible au début du mois de décembre, après l'examen de 12 prélèvements de sol de 12 500 cm³ chacun (50 × 25 × 10 cm) de trouver le nombre de pupes effectivement présentes sous l'olivier. Il est légèrement inférieur à 15 000.

TABLEAU I

Évolution du nombre de galeries larvaires de D. oleae *vides dans les fruits et des pupes par mètre carré de sol sous le même arbre*

Date	22-10	29-10	4-11	12-11	20-11	26-11	4-12
Pourcentage d'olives observées avec des galeries vides	9	8	17	22	41	45	37 (1)
Nombre moyen de pupes récoltées (par m²)	8	8	20	64	85	233	224

(1) Début de la récolte sur certains arbres.

Le calcul théorique correspondant effectué à partir du poids moyen de l'olive pour la variété considérée qui permet de connaître approximativement le nombre d'olives et du pourcentage de galeries vides observées au niveau du fruit (soit 45 p. 100 à l'époque de l'échantillonage) montre que 16 500 pupes environ doivent être formées dans le sol.

Après la correction de l'erreur due au rendement de la méthode, il est clair que ces deux résultats sont concordants.

b) Elle fait apparaître des variations dans le temps de la population de pupes dans le sol. Des séries hebdomadaires d'analyses de population du sol ont été effectuées à partir de prélèvements de 25 000 cm^3 (50 × 50 × 10 cm) choisis dans le secteur Sud des arbres, car des différences non négligeables sont notées selon les diverses orientations.

Le tableau 1 résume les résultats enregistrés dans un biotope de l'île d'Aguistri (Scala) jusqu'à la récolte des fruits.

CONCLUSIONS

La technique de tamisage utilisée, bien qu'elle doive encore subir des améliorations pratiques destinées à automatiser au maximum les séquences principales de la recherche des pupes dans le sol paraît dès maintenant adaptée au contrôle des populations de *D. oleae* pendant leur phase hypogée.

La connaissance quantitative des peuplements souterrains des stades nymphaux de *D. oleae*, nous assure la possibilité d'un contrôle satisfaisant de l'efficacité réelle des parasites susceptibles d'assurer leur activité sur les pupes formées sous l'olivier. En effet il devient ainsi possible de récolter, après les lâchers de parasites, des pupes en nombre suffisant et donc de préciser par l'observation directe le développement des entomophages de *D. oleae* dans la population naturelle de l'insecte après l'enfouissement des larves pendant la période hivernale.

Reçu pour publication en janvier 1975.

SUMMARY

STUDY OF THE PUPAL STAGE OF *DACUS OLEAE* (GMEL.) IN THE GROUND

The authors explain the technique used for the collection in soil of pupae of *D. oleae* and their first results.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DELMAS H. G., THERMES R., 1953. Sur la profondeur de pupaison de *Ceratitis capitata* WIED. *Rev. Path. Veg. Ent. Agr. Fr.*, **32**, 45-49.

MARTIN H., 1948. Observations biologiques et essais de traitements contre la Mouche de l'Olive (*Dacus oleae* ROSSI) dans la province de Tarragone (Espagne) de 1946 à 1948. *Mitt. Schw. Entomol. Gesell.*, **21**, 361-402.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, **7** (2), 269-272.

NOTE

POSSIBILITÉ DE PIÉGEAGE SEXUEL CHEZ *PRAYS OLEAE* (BERN.) *LEPIDOPTERA HYPONOMEUTIDAE*

R. PRALAVORIO, Y. ARAMBOURG* et D. CODOU

Station de Zoologie et de Lutte biologique, I. N. R. A., 06602 Antibes

** FAO, P. O. Box 6, Kifissia, Athènes (Grèce)*

RÉSUMÉ

Il est possible d'utiliser l'attractivité sexuelle des femelles vierges dans le cas de *Prays oleae* BERN. ; cette possibilité ouvre des perspectives intéressantes pour la mise en place d'une méthode d'avertissements évitant un emploi abusif des traitements insecticides, ainsi que pour l'étude de la dynamique des populations de ce phytophage.

Chez *Prays oleae* BERN., la possibilité d'une évaluation rapide d'un risque d'infestation serait grandement facilitée si on possédait une technique simple d'estimation des populations d'adultes.

En effet, on assiste chez ce lépidoptère à des fluctuations brutales de population qu'il est actuellement impossible de prévoir et dont les causes sont mal connues (ARAMBOURG, 1972). D'autre part, l'œuf de petite taille (0,574 mm) est déposé lors des trois générations dans des conditions qui rendent sa découverte délicate et nécessite de procéder à l'examen minutieux d'un grand nombre d'échantillons. Par ailleurs l'utilisation de bandes pièges préconisée par AUDEMARD (1974) pour *Laspeyresia pomonella* L. est également aléatoire car, outre que ce procédé n'est valable que sur la génération phyllophage, une partie des chenilles se nymphose à l'extrémité des rameaux où elles assemblent les feuilles pour former un abri. Il faut également noter la difficulté d'utilisation de cette méthode avec des oliviers dont le développement est celui d'un arbre forestier.

Les essais effectués à l'aide d'un piège lumineux n'ayant pas été couronnés de succès, une possibilité intéressante demeurait avec l'utilisation du piégeage sexuel.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons utilisé pour nos essais, des pièges cylindriques du type de ceux préconisés par CHABOUSSOU et CARLES (1962) pour *Lobesia botrana* SCHIFF., et modifiés afin d'être employés pour une campagne de piégeage sur la Tordeuse sud-africaine des œillets *Epichoristodes acerbella* WALK. par M. PRALAVORIO et P. MILLOT (Communication personnelle).

Les femelles vierges sont placées dans une cagette en toile métallique au centre du cylindre où elles peuvent s'alimenter en eau et miel séparément. La partie du piège engluée est constituée par une feuille de zinc amovible ce qui permet de dénombrer facilement au laboratoire les adultes capturés sans démonter l'ensemble de l'appareil de capture.

Ne disposant pas actuellement d'un élevage permanent de *P. oleae* nous avons été obligé de prélever le matériel biologique nécessaire à notre expérimentation sur les arbres, en partie par la pose de bandes pièges, en partie en récoltant des feuilles lorsque les dégâts des larves au stade L_4 sont bien visibles, celles-ci étant alimentées avec des feuilles fraîches jusqu'à la nymphose. Lors de la génération anthophage, il est facile de recueillir des chenilles en secouant les grappes florales sur un drap, lorsque ces dernières sont en fin d'évolution. N'ayant pu vérifier expérimentalement si un ou plusieurs accouplements peuvent avoir lieu dans le cas de *P. oleae*, nous avons utilisé des femelles vierges, et afin de constituer un gradient suffisant pour mettre en évidence la valeur de la méthode, nous avons retenu le nombre de 10 par piège.

RÉSULTATS ET CONCLUSION

Compte tenu de ce que notre but était seulement de tester la valeur de la méthode, nous avons choisi un biotope où les infestations sont régulières et assez fortes, mais du fait de son éloignement, nous n'avons pu y effectuer que deux contrôles, après la mise en place de deux pièges.

Le premier piège a été installé le 8-5-74 au centre d'un arbre formé de rejets issus d'un recépage. Afin d'éviter une élévation de température préjudiciable à la longévité des femelles, nous avons pris soin d'ombrer la partie supérieure du cylindre.

La floraison des arbres se trouvait au stade repère D, selon les critères fixés par COLBRANT et FABRE (1973). Le 15-5-74 lors du premier relevé nous avons pu dénombrer 129 mâles, alors que deux femelles vierges étaient encore vivantes ; nous avons alors renouvelé les 10 femelles du premier piège et mis en place un second à 10 mètres environ. Le 22-5-74, 35 mâles étaient englués sur le premier piège et 15 sur le second.

On peut penser que les captures du premier piège correspondent à la période d'éclosion maximale des adultes (maximum de la courbe de vol). Notons que le maximum n'a pas correspondu en 1974 avec le stade phénologique habituel des arbres, celui-ci étant légèrement en retard.

Bien que très succincts, les résultats obtenus montrent la validité de la méthode et on peut donc envisager son utilisation, bien que l'absence d'une technique d'élevage du phytophage sur milieu artificiel rende sa vulgarisation plus difficile. Il est d'autre part indispensable de vérifier les corrélations existant entre les mâles capturés, les densités de populations existantes et l'intensité des infestations.

Reçu pour publication en janvier 1975.

SUMMARY

POSSIBLE USE OF SEXUAL TRAPS FOR *PRAYS OLEAE* (BERN.)
LEPIDOPTERA HYPONOMEUTIDAE

It is possible to use the sexual attraction of the virgin females of *Prays oleae* BERN. This possibility is promising for the setting of warning method to avoid an excessive use of insecticide treatments and for the study of the dynamics of this phytophagous populations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARAMBOURG Y., 1972. Essai d'estimation des populations de *Prays oleae* BERN. *Inf. Oléicoles Intern.* 65-57, 171-174.

AUDEMARD H., 1974. La lutte intégrée en vergers de pommiers. Possibilité d'aménagement de la lutte chimique contre le carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en France. *Bull. Techn. d'Inf.*, **290**, 455-465.

CHABOUSSOU F., CARLES P., 1962. Observations sur le piégeage sexuel des mâles d'*Eudemis*. *Rev. Zool. Agric. Applic.*, **61**, 81-98.

COLBRANT P., FABRE P., 1973. Stades repères de l'olivier. Fiche Serv. Prot. Végétaux, comité technique de l'olivier, 2.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, **7** (2).

CONTENTS

G. STREBLER. — Ecology of the parasites of animals during breeding 139

R. MOREAU, C. CASTEX, M. LAMY. — First observation of the metabolic effects of a new insecticide among two mischievous insects *Pieris brassicae* L. and *Thaumetopoea pityocampa* S. (Lepidoptera) 161

F. LIEUTIER. — Humidity and dryness in environment below cortical : consequences on the associated fauna 171

G. CROIZIER. — The immunological diagnosis with regard to the microbiological control of insects pests 185

R. BOURNOVILLE. — Relationship between the mirid bugs infesting seed-oriented lucerne and phenology of the plant 197

Madeleine PRALAVORIO, P. JOURDHEUIL, P. MILLOT. — Attemps to control *Tetranychidae* of vegetable and ornemental crops in greenhouse using the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* 211

Sylvie DERRIDJ. — A field study on the effect of succession of potato varieties : Ackersegen, Bintje and Kennebec (*Solanum tuberosum* L.) on biology of colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* SAY.) (Coleoptera, *Chrysomelidae*) 227

J. FARGUES. — Fields experiments on the combination of *Beauveria bassiana* with insecticides for the control of *Leptinotarsa decemlineata* 247

Notes.

Y. LAUDEHO, C. LIAROPOULOS, C. LOUSKAS. — Study of the pupal stage of *Dacus oleae* (GMEL.) in the ground 265

R. PRALAVORIO, Y. ARAMBOURG, D. CODOU. — Possible use of sexual traps for *Prays oleae* (BERN.) *Lepidoptera Hyponomeutidae* 269

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Le manuscrit doit être dactylographié sur papier format 21 × 29,7, avec un double interligne, au recto seulement. Chaque page sera numérotée et des feuilles *séparées* seront utilisées pour les références bibliographiques, les tableaux, les légendes des figures et graphiques, etc.

Au début de chaque mémoire, on indiquera : — *le titre du mémoire :* il ne devra pas comporter d'abréviations ni de formules chimiques (sauf pour les isotopes) ; — *le nom des auteurs*, précédé des initiales du prénom pour les hommes, du prénom complet pour les femmes ; — *le nom des techniciens* ayant collaboré à l'étude relatée, précédé de la mention : avec la collaboration technique de... ; — *le nom de l'établissement*, dans lequel ont été effectuées les recherches et son adresse.

Les mémoires seront rédigés, autant que possible, d'après le plan ci-dessous :
a) *résumé :* (250 mots max.) suffisamment précis pour que sa lecture renseigne sur la nature du travail et son importance ; b) *introduction* dans laquelle on indique l'objet des recherches entreprises en relation avec les travaux déjà effectués dans le domaine ; c) *techniques expérimentales et matériel utilisé*, en donnant, sous une forme concise, tous les détails nécessaires pour que le lecteur puisse répéter les expériences ; d) *résultats*, à présenter de la manière la plus brève possible ; e) *discussion et conclusions ;* f) *titre et résumé* anglais ou destinés à être traduit en anglais comportant une analyse *complète* de l'article ; g) *remerciements* pour les collaborateurs, les fonds, les dons... ; h) *références bibliographiques.*

Les travaux originaux en anglais doivent présenter la même composition que les mémoires rédigés en français, mais ils comportent obligatoirement un résumé français *très complet.* Les figures, graphiques, tableaux et photographies seront sous-titrés en français.

Pour les autres documents (notes, mises au point, revues, rapports, etc.) l'auteur devra suivre un plan logique et le mettre en évidence par une titration appropriée.

Les références bibliographiques doivent être citées dans le texte de la manière suivante : (Dupont et Duval, 1954). Lorsque la référence comporte plus de trois auteurs, seul le premier auteur sera mentionné, suivi de *et al.* A la fin de l'article, les références constituant la bibliographie doivent être citées par ordre alphabétique des noms d'auteurs, et par ordre de dates pour un même auteur.

Pour les articles : le (s) nom (s) de (s) auteur (s) suivi (s) des initiales du (des) prénom (s) ; la date de parution de l'article ; le titre de l'article (dans la langue originale pour l'allemand, l'anglais, l'italien, l'espagnol et en français dans tous les autres cas, avec indication entre parenthèses de la langue d'origine, sauf si l'auteur étranger a sous-titré dans l'une des quatre langues mentionnées) ; le titre du périodique en abrégé, selon la *World List of Scientific Periodicals*, ou le *Bulletin Signalétique du C. N. R. S.* ; le volume ; la première et la dernière page de l'article.

Pour les ouvrages : le nom de l'auteur avec les initiales du prénom ; la date de l'édition ; le titre complet de l'ouvrage dans la langue originale, sans abréviations (pour les langues utilisant des alphabets autres que l'alphabet latin, la traduction du titre sera donnée entre parenthèses, avec mention de la langue d'origine) ; le volume ; la première et la dernière page du paragraphe se rapportant aux résultats discutés, et, si l'on cite l'ouvrage en entier, le nombre de volumes et le nombre total de pages ; le numéro de l'édition s'il y en a plusieurs ; le nom de l'éditeur ; le lieu de l'édition. Si l'ouvrage est collectif, on indiquera en plus le nom de l'auteur du chapitre cité, le nom des rédacteurs principaux, précédé de la mention « in », le titre de l'ouvrage.

La mention de « communications personnelles » ou « données non publiées » etc. doit être faite entre parenthèses. Lorsque l'auteur a relevé une référence dans une revue d' « Abstracts », le mentionner à la fin de la référence, entre parenthèses.

Les tableaux, dessins, graphiques, cartes, photographies, doivent être fournis à part. Les tableaux et figures doivent faire l'objet de deux numérotations distinctes, en chiffres arabes l'une et l'autre.

Les auteurs peuvent disposer leurs tableaux soit dans le sens de la largeur de la revue, soit dans le sens de la longueur. Dans le sens de la largeur, le total des signes et des espaces disponibles est de 100. Dans le sens de la longueur, il est de 155. Les tableaux en longueur, c'est-à-dire ceux pouvant disposer de 155 signes, ne seront admis que s'ils comprennent plus de 8 lignes de chiffres, de manière qu'une page entière de la revue ne soit pas occupée par un tableau très long et très étroit. Les graphiques ne doivent pas faire double emploi avec les tableaux.

Les légendes et les énoncés des graphiques et dessins doivent être dactylographiés sur une même feuille séparée et porter les numéros des figures.

Les graphiques, schémas, cartes, dessins d'appareils seront envoyés soit *à l'état définitif* soit *à l'état de projets*, leur exécution définitive étant confiée au Bureau de Dessin de l'I. N. R. A. Seules deux réductions à l'impression sont admises : *soit* × 0,5, *soit* × 0,25.

Il est rappelé que le format utile des *Annales* est : 19 × 12,5 cm ; ces dimensions ne doivent pas être dépassées.

Photographies : Il est recommandé de fournir des épreuves bien contrastées sur papier blanc, et de préférence en format 9 × 12. Si les photographies doivent être associées pour constituer des planches, on adoptera les normes suivantes : 2 photos : 9 × 12 ; 4 photos : 9 × 5,5 ; 6 photos : 5,5 × 5,5. Dans ce cas, chaque photo devra porter un numéro en chiffres arabes visible après clichage.

Les légendes des photographies doivent être dactylographiées sur une même feuille séparée et porter les numéros des figures.

Il est demandé d'indiquer sur le manuscrit, dans la marge, en regard du texte, l'emplacement souhaité pour les tableaux et figures.

Envoi du manuscrit : M. Biliotti, Centre national de Recherches agronomique, 78000 Versailles, France. On demande deux exemplaires.

Correction des épreuves : les épreuves que les auteurs recevront à corriger sont à retourner, après correction, à cette même adresse.

Le Directeur de la publication : M.-L. CAGNAC

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 7-1975

Dépôt légal : 3e trimestre 1975. N° d'impression : 804

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

PÉRIODIQUES

TARIF DES ABONNEMENTS POUR 1975	France	Étranger	Le N°
ANNALES AGRONOMIQUES, 6 nos par an	225 F	246 F	45 F
ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE PHYTOPATHOLOGIE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE ZOOLOGIE-ÉCOLOGIE ANIMALE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE ZOOTECHNIE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE TECHNOLOGIE AGRICOLE, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE BIOLOGIE ANIMALE, BIOCHIMIE, BIOPHYSIQUE 4 nos par an	225 F	246 F	75 F
ANNALES DES SCIENCES FORESTIÈRES, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE GÉNÉTIQUE ET DE SÉLECTION ANIMALE, 4 nos par an.	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE RECHERCHES VÉTÉRINAIRES, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES D'HYDROBIOLOGIE, 2 nos par an	105 F	116 F	70 F

APIDOLOGIE, 4 nos par an — Abonnement : France : 50 F
Étranger sauf R. F. A. : 60 F
— Le numéro : France : 15 F
Étranger sauf R. F. A. : 20 F

DERNIERS OUVRAGES PARUS

Carte pédologique de France au 1/100 000. Toulon-P 23 et notice explicative, par **J. Portier.**
107 p. et une carte, 1974 ..... **53,50 F**

Journées d'information sur l'alimentation azotée des animaux, Paris, 21-22 novembre 1973.
141 p., 1974 ..... **25,00 F**

L'I. N. R. A. au service des Industries agricoles et alimentaires. Inventaire des Recherches.
266 p., 1974 ..... **35,00 F**

Symposium international sur la conservation des grains récoltés humides, Paris, 5-10 mars 1973.
762 p., 1973 ..... **150,00 F**

Le Pois. Étude génétique des caractères, classification, caractéristiques variétales portant sur les variétés inscrites au catalogue officiel français, par **R. Cousin.**
111 p. et 140 fiches, 1974 ..... **150,00 F**

Contribution à l'étude de la Faune de France. Systématique de la tribu des Scymnini (Coccinellidae), par **J. M. Gourreau.**
223 p., 1974 ..... **85,00 F**

Les arbres et arbrisseaux acclimatés en région méditerranéenne française. Catalogue commenté, par **P. Augé, P. Allemand, R. Hamès.**
144 p., 1973 ..... **58,85 F**

Colloque sur l'ovogenèse et la folliculogenèse, Nouzilly, 14-16 déc. 1972.
258 p., 1973 ..... **120,00 F**

Protoplastes et fusion de cellules somatiques végétales, Versailles, 11-15 septembre 1972. Coédition I. N. R. A. - C. N. R. S.
549 p., 1973 ..... **160,50 F**

Recherches acridiennes à Madagascar.
262 p., 1972 ..... **80,00 F**

IVe Conférence du groupe international d'étude des virus et des maladies à virus de la vigne, Colmar 16-18 juin 1970.
211 p., 1972 ..... **60,00 F**

Lombriciens de France, Écologie et Systématique par **M.-B. Bouché.**
671 p., 1972 ..... **150,00 F**

IIIe Conférence du Groupe consultatif des Statisticiens forestiers, Jouy en Josas, 7-11 septembre 1970.
332 p., 1972 ..... **139,75 F**

Symposium international sur le soufre en Agriculture. Versailles, 3-4 décembre 1970.
412 p., 1972 ..... **50,00 F**

Les demandes d'abonnements et les commandes doivent être adressées au Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.
Règlement : par chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des Publications de l'I N. R. A., par virement postal à son compte courant : 9064-43 Paris, sans mentionner d'adresse, ou par bons U. N. E. S. C. O.
Les demandes peuvent être souscrites également par l'intermédiaire des libraires dans les conditions habituelles.
A Paris, bureau de vente : 11, rue Jean-Nicot.

Ann. Zool. - Écol. anim., 1975, 7 (2).

TABLE DES MATIÈRES

G. STREBLER. — Écologie des parasites d'animaux élevés sur herbages 139

R. MOREAU, C. CASTEX, M. LAMY. — Examen préliminaire de quelques aspects des effets métaboliques d'un nouvel insecticide de synthèse chez deux insectes nuisibles : *Pieris brassicae* L. et *Thaumetopoea pityocampa* S. (Lépidoptères) 161

F. LIEUTIER. — Humidité et dessèchement en milieu sous-cortical : conséquences pour la faune associée 171

G. CROIZIER. — Le diagnostic immunologique dans la perspective de la lutte microbiologique contre les insectes 185

R. BOURNOVILLE. — Relations entre les hétéroptères mirides nuisibles à la luzerne porte-graines et la phénologie de la plante 197

Madeleine PRALAVORIO, P. JOURDHEUIL, P. MILLOT. — Essais d'utilisation de l'Acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis* contre les tétranyques sur diverses cultures florales et maraîchères en serre 211

Sylvie DERRIDJ. — Étude au champ de l'effet de succession des variétés de pomme de terre : Ackersegen, Bintje et Kennebec (*Solanum tuberosum* L.) sur la biologie du doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* SAY). (Coléoptère, *Chrysomelidae*) 227

J. FARGUES. — Étude expérimentale dans la nature de l'utilisation combinée de *Beauveria bassiana* et d'insecticides à dose réduite contre *Leptinotarsa decemlineata* 247

Notes.

Y. LAUDEHO, C. LIAROPOULOS, C. LOUSKAS.. — Étude du stade pupal de *Dacus oleae* (GMEL.) au niveau du sol 265

R. PRALAVORIO, Y. ARAMBOURG, D. CODOU. — Possibilité de piégeage sexuel chez *Prays olea* (BERN) *Lepidoptera Hyponomeutidae* 269

Contents, see at the end of the issue

Les Annales de Zoologie - Écologie animale figurent dans Current Contents

I. N. 5. 036. 046. 5